



TITLE:

第55回自然災害科学総合シンポジウム (平成30年度防災研究所重点推進型共同研究) 講演論文集

AUTHOR(S):

CITATION:

第55回自然災害科学総合シンポジウム (平成30年度防災研究所重点推進型共同研究) 講演論文集. 自然災害科学総合シンポジウム講演論文集 2018, 55: 1-82

ISSUE DATE:

2018-09-18

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/240606>

RIGHT:

第 55 回自然災害科学総合シンポジウム

(平成 30 年度防災研究所 重点推進型共同研究)

講演論文集

平成 30 年 9 月 18 日 (火)

於：京都大学宇治おうばくプラザ きはだホール

主催

京都大学防災研究所 自然災害研究協議会

第 55 回自然災害科学総合シンポジウム

主 催： 京都大学防災研究所自然災害研究協議会
日 程： 平成 30 年 9 月 18 日（火）10 時 20 分～16 時 50 分（終了予定）
場 所： 京都大学宇治おうばくプラザ きはだホール
〒611-0011 宇治市五ヶ庄
参加費： 無料

プログラム

10 : 00～ 受付

10 : 20～12 : 30（10 分+40 分×3）

・開会の挨拶

【科学研究費補助金・特別研究促進費による突発災害調査研究平成 29 年度報告】

「2017 年 3 月 27 日に栃木県那須町で発生した雪崩災害に関する調査研究」

上石 勲（防災科学技術研究所）

「平成 29 年 7 月九州北部豪雨災害に関する総合的研究」

重枝 未玲（九州工業大学大学院工学研究院）

「2018 年草津白根山噴火に関する総合調査」

小川 康雄（東京工業大学理学院火山流体研究センター）

12 : 30 昼食

13 : 20～14 : 20（30 分×2）【自然災害研究協議会突発災害調査報告】

「2017 年台風 18 号により大分県中南部で発生した豪雨の特徴と浸水被害の概要」

山本 晴彦（山口大学大学院創成科学研究科）

「北陸地方を中心とした広域雪氷災害に関する調査研究」

河島 克久（新潟大学災害・復興科学研究所）

14 : 20～14 : 50【防災研究所共同研究・地域防災実践型共同研究】

「レーダーネットワークを活用した統合防災システムの構築」

佐々 浩司（高知大学自然科学系）

14:50～15:20（15 分×2）【2018 年自然災害調査】

「2018 年 6 月大阪府北部の地震時の強震動」

岩田 知孝（京都大学防災研究所）

「ICT デバイス等から得られた情報を活用した竜巻被害調査—2018 年 6 月 29 日に米原で発生した竜巻を例にとって—」

西嶋 一欽（京都大学防災研究所）

15 : 20 休憩

15 : 40～16 : 30（25 分×2）

【特別講演】災害資料データベースについて

「集めた災害資料を防災に活かす—自然災害情報室の取り組み—」

鈴木比奈子（防災科学技術研究所）

「データベース SAIGAI の改革—防災研の災害資料を有効に使ってもらうために—」

大西正光（京都大学防災研究所）

16 : 30～16 : 50

・総合討論

・閉会挨拶

目次

【科学研究費補助金・特別研究促進費による突発災害調査研究平成 29 年度報告】

- 「2017 年 3 月 27 日に栃木県那須町で発生した雪崩災害に関する調査研究」…………… 1
上石 勲（防災科学技術研究所）
- 「平成 29 年 7 月九州北部豪雨災害に関する総合的研究」…………… 13
重枝 未玲（九州工業大学大学院工学研究院）
- 「2018 年草津白根山噴火に関する総合調査」…………… 25
小川 康雄（東京工業大学理学院火山流体研究センター）

【自然災害研究協議会突発災害調査報告】

- 「2017 年台風 18 号により大分県中南部で発生した豪雨の特徴と浸水被害の概要」…… 31
山本 晴彦（山口大学大学院創成科学研究科）
- 「北陸地方を中心とした広域雪氷災害に関する調査研究」…………… 43
河島 克久（新潟大学災害・復興科学研究所）

【防災研究所共同研究・地域防災実践型共同研究】

- 「レーダーネットワークを活用した統合防災システムの構築」…………… 57
佐々 浩司（高知大学自然科学系）

【2018 年自然災害調査】

- 「2018 年 6 月大阪府北部の地震時の強震動」…………… 65
岩田 知孝（京都大学防災研究所）
- 「ICT デバイス等から得られた情報を活用した竜巻被害調査
—2018 年 6 月 29 日に米原で発生した竜巻を例にとって—」…………… 67
西嶋 一欽（京都大学防災研究所）

【特別講演】災害資料データベースについて

- 「集めた災害資料を防災に活かす—自然災害情報室の取り組み—」…………… 73
鈴木比奈子（防災科学技術研究所）
- 「データベース SAIGAI の改革—防災研の災害資料を有効に使ってもらうために—」… 77
大西正光（京都大学防災研究所）

2017年3月27日に栃木県那須町で発生した雪崩災害に関する調査研究 —科学研究費補助金・特別研究促進費による突発災害調査 報告—

上石 勲*

*防災科学技術研究所，研究代表者

要 旨

2017年3月27日に栃木県那須郡那須町的那須岳東斜面で雪崩が発生し，登山研修中の高校生と教員が巻き込まれ，生徒7名，教員1名が死亡，50名が負傷する甚大な被害が発生した。本調査は，このような惨事を二度と繰り返さないことを目的とし研究を進めた。本稿では，特に現地調査と解析による雪崩発生メカニズム解明，それに基づく南岸低気圧による降雪に起因する雪崩の発生予測システム構築・検証，雪崩に関する教育計画の立案と啓蒙普及活動について詳細に記述した。なお，本調査報告書の目次，著者については巻末に記載したので，併せて確認いただきたい。

1. はじめに

2017年3月27日に栃木県那須郡那須町で登山研修中の高校生と教員が巻き込まれ，生徒7名，教員1名が死亡するなど甚大な被害が発生した。

今回の雪崩災害の要因を抜本的に解明するためには，気象，積雪，地形，雪崩運動メカニズムなど多角的・包括的なアプローチが必須である。また要因の解明にとどまらず今後の雪崩災害の軽減に向けた取り組みも重要となる。

- ①雪崩発生域付近における現地調査
- ②上空からの画像撮影
- ③地形情報および雪崩災害資料の収集とその解析による各種データベース作成
- ④降雪状況の面的解析
- ⑤地形ならびに雪崩堆積状況解析
- ⑥雪崩シミュレーションを用いた被害範囲推定
- ⑦低気圧性の降雪を起因とした雪崩にも対応可能な積雪変質モデルの開発
- ⑧山岳域雪崩リアルタイムハザードマップの試作
- ⑨雪崩災害防止にむけた課題の検討並びにその解決に向けた検討
- ⑩啓発普及

調査研究チームは以下の通りである。

上石勲(防災科研，研究代表者)

研究分担者

中村一樹，尾関俊浩(北教大)，中井専人，河島克久

(新潟大)，松元高峰(新潟大)，西村浩一(名大)，小田憲一(日大)，森口周二(東北大)，竹内由香里(森林総研)，根本征樹，出世ゆかり，内山庄一郎，松四雄騎(京大)，近藤伸也(宇都宮大)，飯田肇(立山砂防カルデラ博物館)，吉田聡(京大)(所属未記入は防災科研)

連携研究者

松浦純生(京大)，勝島隆史(森林総研)，橋本明弘(気象研)，荒木健太郎(気象研)，岩波越，鈴木真一，小杉健二，山口悟，本吉弘岐，平島寛行，伊藤陽一，阿部修，安達聖，鈴木比奈子(所属未記入は防災科研)

研究協力者

阿部直樹，阿部幹雄(日本雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チーム)，伊豫部勉(京大)，木枝香織，榊原健一(北医大)，佐藤研吾，清水慎吾，瀬谷旺二郎(宇都宮大)，前坂剛，吉川知里(新潟大)，渡部俊(新潟大)(所属未記入は防災科研)

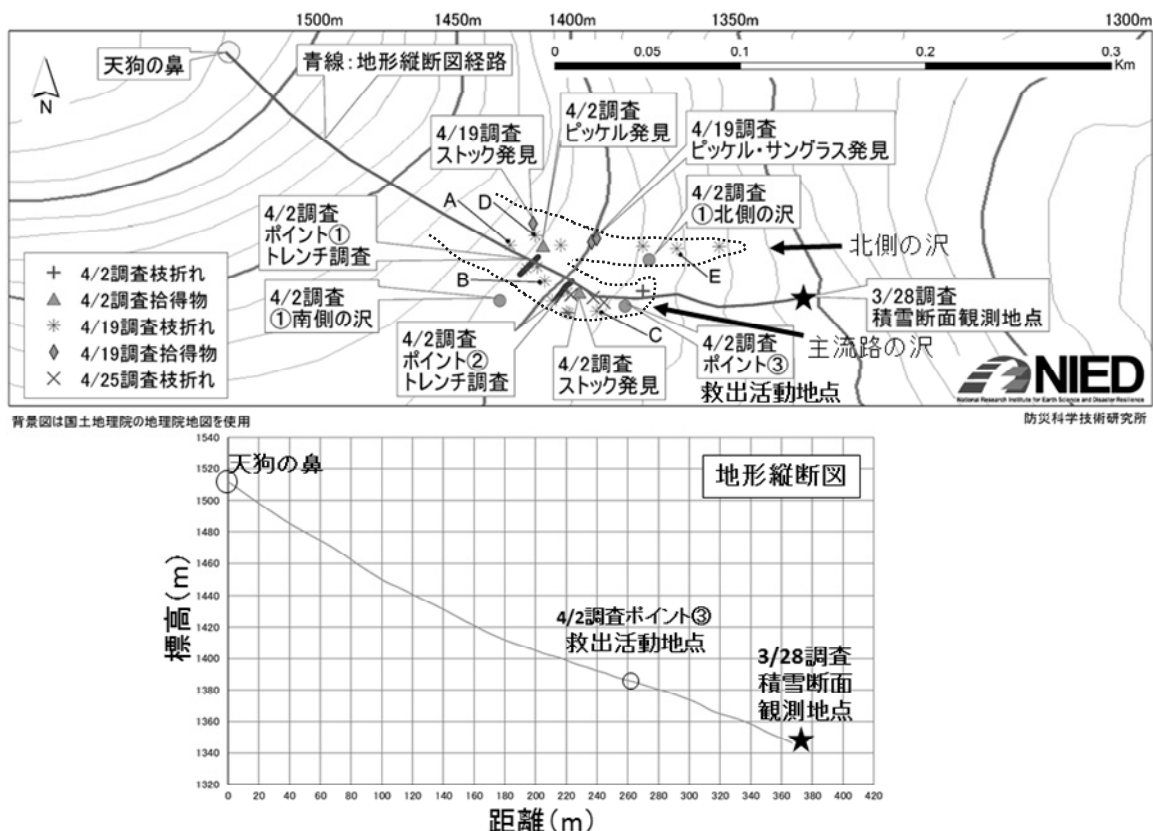
2. 現地調査と判明した雪崩の発生状況

2.1 現地調査概要

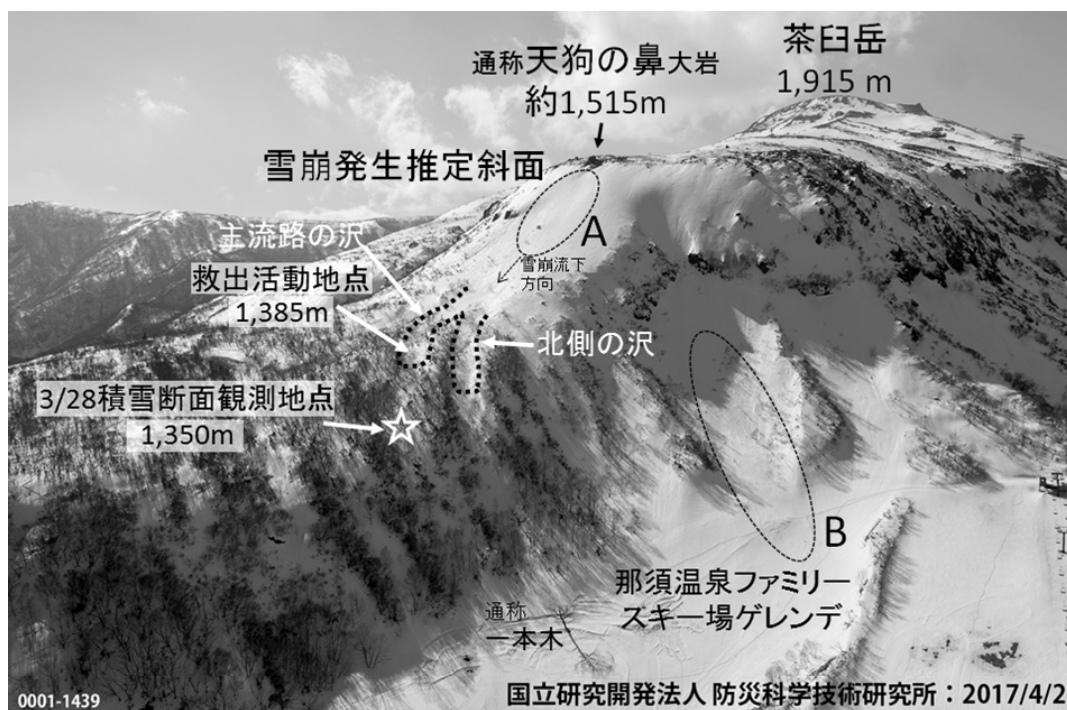
3月28日の調査では，雪崩停止箇所より若干下がった地点での積雪断面観測を行い，表面から23~25cmに降雪結晶からなる層を確認した。この層を弱層として表層雪崩が発生したものと推定され，今後の雪崩発生の解析に結び付いている貴重な観測データと

なっている。また、4月2日にはUAV無人航空機による撮影、以降の5回の現地調査では、雪崩の発生源破断面や積雪表面のデブリは確認できなかったが、積雪の断面観測によって雪崩の痕跡を数か所で確認することができた。樹木の枝折れや関係者の所持して

いた登山用具も発見され、雪崩発生個所、流下範囲について、ある程度把握することができた。さらに、救助隊の方や雪崩に遭遇した方に聞き取り調査を行い、当日の状況に関する貴重な証言を頂いた。



図一 雪崩痕跡とその地形縦断面図（点線はおおよその雪崩到達範囲）
（国土地理院基盤地図情報 5m メッシュ標高より）



図二 那須岳雪崩発生地全景

図-1, 2に4月2日に無人航空機で撮影した那須岳雪崩発生地全景と調査結果を示した。斜面Aは、標高約1,515mの通称天狗の鼻大岩の直下に位置し、2017年3月27日に大きな被害をもたらした雪崩が発生したと推定される斜面である。4月2日の現地調査では、斜面Aの下方に標高1,385m付近に人為的に掘削された直径数mの雪の掘削跡が確認された。これは3月27日の雪崩発生直後に救出活動で掘削されたものであると考えられ、救出活動地点と推定された。3月28日に断面観測を実施した地点は、この救出活動地点と同じ沢のさらに下方の標高1,350mに位置する。また、3月28日午前には、スキー場センターハウス付近から、斜面Bの位置に表層雪崩のデブリや流下の後が確認できた。このデブリはスキー場のゲレンデまで達していた。

2.2 積雪断面観測結果と気象状況との関係 (2017年3月28日実施)

図-3に3月28日13時50分～16時20分に積雪内部の状態を把握するために実施した積雪断面観測結果を示す。斜面Aの向きは南東から東南東、傾斜角は30～38度で表層雪崩が発生しやすい傾斜角35～40度の範囲を含む斜面である。この積雪断面観測地点の積雪深は305cmであった。積雪断面観測は、積雪表面から深さ約100cmまでを対象に実施した。

積雪表面から深さ100cmまでの雪温は、最高-0.6℃、最低-1.3℃であり全層氷点下であった。深さ22～25cmは弱層と考えられ、硬度0.8kPa、密度56kg/m³であった。

図-4に、3月28日に観測した積雪断面と雪粒子の写真を示す。Bの粒径が2mm以上の雪粒子は、雲粒が付着していない板状結晶であると判断できる。その上下のAもCも雲粒は少ないが粒径は小さく、板状結晶ではない。したがって、弱層を形成する主な粒子は、雲粒付着なしの板状結晶であり、雪が降ってくる時の形状が弱層形成に関係している雲粒付着がない（あるいは少ない）降雪結晶の弱層であると考えられる。

図-5に気象庁地上天気図と気象衛星赤外面像（宇都宮气象台, 2017）、及び解析雨量を示す。これより図-4の深さ22～25cmの弱層は、本州の南岸を北東に進む低気圧に伴う3月26日～27日の降雪中に、降雪の結晶の形状が雲粒の付着の少ない比較的大型の板状結晶が多い時間帯があり、その結晶が積もることによって形成されたと推定された。さらに、弱層となる板状結晶の層が積もった後に、同じ低気圧からもたらされた27日未明の比較的低圧時に強く降った雪が上載積雪となって積雪が不安定になり、面発生乾雪表層雪崩が発生したと推定された。

図2に示す斜面Bの自然発生の表層雪崩の痕跡からも、那須岳付近の積雪は不安定な状態にあったと判断される。これらの状況から、2017年3月27日那須雪崩事故検証委員会報告書（2017）に示されているように、現時点では、3月27日に大きな被害を生じた図-2の斜面Aの表層雪崩は、不安定な積雪の斜面から自然発生した可能性と、不安定な積雪の斜面に人が入り込んだために発生した可能性の両方があると考えられる。

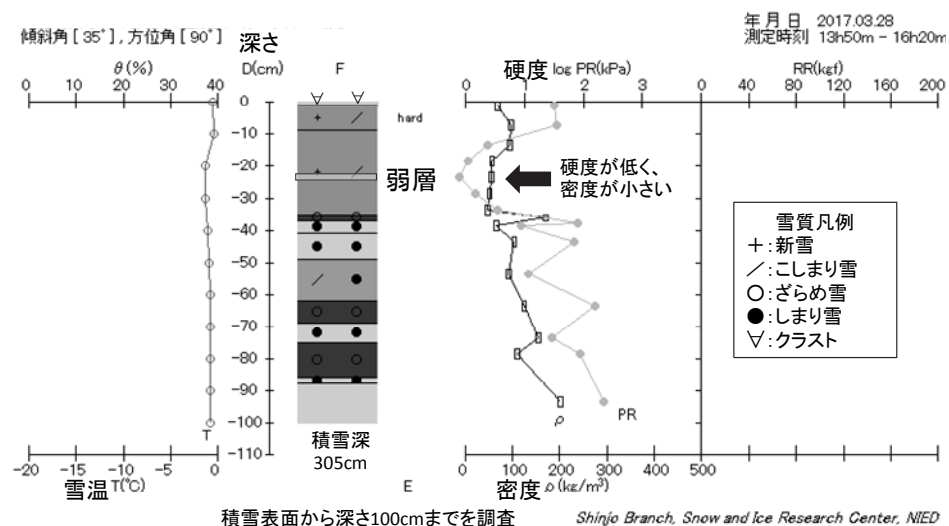
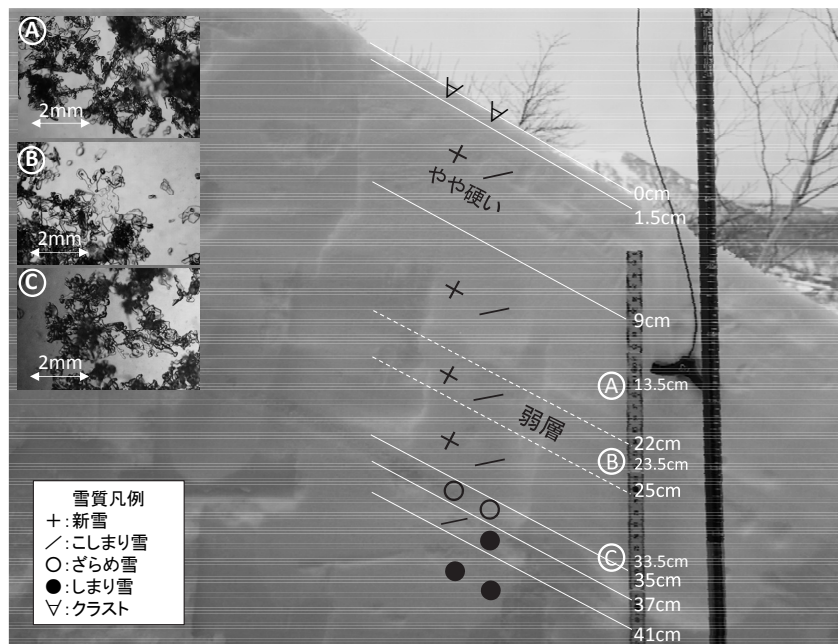
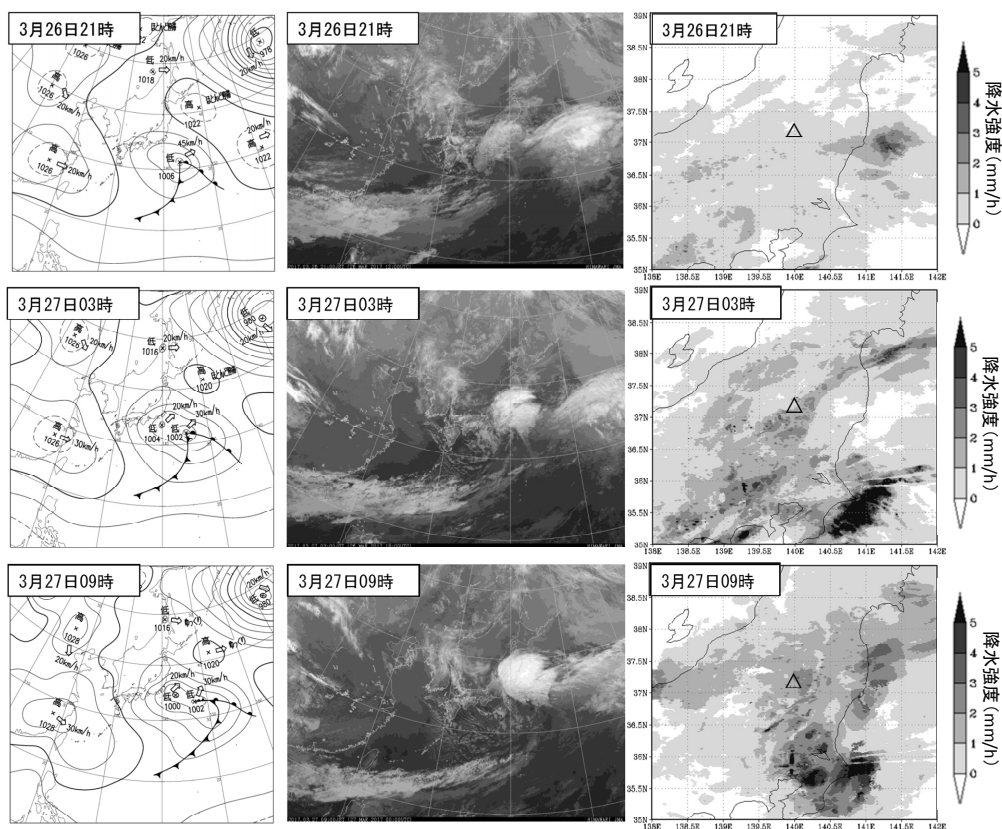


図-3 積雪断面観測結果（2017年3月28日実施）



図ー4 2017年3月28日に観測した積雪断面と雪粒子の写真



図ー5 気象庁地上天気図と気象衛星赤外画像（宇都宮気象台，2017），
 及び解析雨量（中心の△は那須岳の位置，GRADSにて作図）

2.3 雪崩痕跡調査結果と雪崩発生経路の推定 (4月2日, 19日, 25日実施)

雪崩痕跡を確認するため、4月2日に、3月28日積雪断面観測地点の上流側を森林限界の標高1,420m付近まで調査を実施した。図-1に示す2つの位置で行ったトレンチ掘削によって積雪表層の断面を確認した。また、ポイント①～③の地点で雪崩による積雪層の乱れの有無を確認し、各標高の踏査中に樹木の枝折れ、倒木の有無の確認を実施した。

図-1に示した現地調査結果と国土地理院基盤地図情報5mメッシュ標高データより、雪崩が発生したと考えられる斜面は、樹林帯を抜けた標高1,420m付近から通称天狗の鼻大岩(標高約1,515m)の間の傾斜角が30度～38度程度の平滑な急斜面で、植生も無く、雪崩の発生しやすい条件を満たしていることが分かる。また、特に標高1,500m前後や標高1,470m前後は、傾斜角が38度前後を示しており、特に急傾斜であることが分かった。図-1の最も上流側に位置す

る枝折れの樹木にダメージを与えるためには、ある程度の標高差を流下する必要があることから、雪崩は天狗の鼻大岩下の斜面で発生したと考えられる。3月28日の調査時には、発生区と考えられる天狗の鼻大岩下の斜面は全層の雪が流下して地面が見えるような状態ではなく、積雪が多く残っていたことから、発生した雪崩の種類は表層雪崩だと推定される。

以上の現地調査結果からおおよそ推定された雪崩到達範囲を国土地理院地図(図-1)に記入した。また、那須岳雪崩発生地全景に点線で記入した(図-2)。天狗の鼻大岩下の発生区では弱層の破壊をきっかけに、弱層の上に降り積もった上載積雪となった新雪が、斜面の傾斜方向に流下したと推定される。さらに、雪崩は、図-1のポイント①, ②を含む沢(主流路の沢)地形を流れ下り、流下中に弱層の下の新雪・こしまり雪層も巻き込んで(図-6,7,8参照)流下速度が上昇したと推定される。



図-6 積雪の状態
(ポイント①トレンチ, 2017年4月2日撮影)



図-7 積雪内の樹木の状態
(ポイント①トレンチ, 2017年4月2日撮影)



図-8 雪崩の主流路と考えられる沢の樹木の枝折れの状況



3. 低気圧性降雪による表層雪崩危険度予測の試み

現在までに低気圧性降雪による表層雪崩危険度の予測は行われていない。そこで、那須岳雪崩の調査結果や過去の低気圧の降雪が原因の表層雪崩事例の地形、上空の風、気温、降雪量等を分析して新たな予測情報を設計し、低気圧性降雪による表層雪崩危険度の可視化を実現することを目的として本研究を実施した。

3.1 低気圧性降雪による表層雪崩事例の分析

図-9に低気圧の降雪から降りやすい結晶形とその範囲の模式図を示す(中村ら, 2013を改定)。低気圧の進行方向前面(北～東～南東側)の層状雲からは、表層雪崩の弱層を形成する雲粒付着が少ない板状結晶や、崩れやすい形状をしている角柱状結晶等が降りやすいことがわかってきた。

低気圧性の降雪に起因する弱層形成と、同様に低気圧性の降雪に起因する比較的サラサラした新雪の上積積雪が原因で、2017年3月の那須岳や2014年2月の関東甲信、東北地方各地など過去に多くの表層雪崩が発生している(例えば、中村ら, 2014: 中村・小杉, 2016)。このような低気圧性の雪が降っている最中に発生する表層雪崩の予測システム開発を最初のステップとして実施した。低気圧が通過した後、西高東低の冬型の気圧配置で上積積雪が形成されて表層雪崩が発生するパターンもあるが、今後の課題として整理した。

那須岳の雪崩を含むパターンAの6事例について分析した。その結果、共通の特徴として、以下の事

項を抽出した。これらの特徴を基に、3.2節で低気圧性雪崩危険度の予測アルゴリズムを検討する。

特徴1)「低気圧性降雪開始から雪崩発生までの雪崩発生区最高気温(℃)」は、全ての事例で氷点下。

特徴2)「低気圧性降雪開始から雪崩発生までの降水量(mm)」は、最低値が事例4の20.0mm。

特徴3)「低気圧性降雪開始から雪崩発生までの積雪深増加(cm)」は、最低値が28cm。

特徴4) 降雪開始から雪崩発生までの850hPa以下の下層風は、全ての事例で東成分を有する東寄りの風。

特徴5) 雪崩は、低気圧性降雪が降っている途中か、降り終わる時に発生。

3.2 低気圧性雪崩危険度の予測アルゴリズム

地表が約5kmメッシュで表現されるメソ数値予測モデルGPV(MSM)データを基に、低気圧性雪崩の発生予測情報をweb上でマップに表示する試験運用のためのシステムの検討・開発を行った。低気圧性雪崩の発生条件(気圧配置、降雪量、降雪時間など)については前節の分析結果を基に決定した。本システムで利用する低気圧性雪崩の予測アルゴリズムを図-10に示す。下記に気象等の要素の判断基準について記す。

作成したMSMモデル検証用データを用いて今回の那須雪崩事故事例で計算した(図-11)。

3.3 試験運用システムの構築

MSMデータを入力値として、低気圧性降雪による表層雪崩危険度(積算降水量)を1時間毎に約30時間先まで予測計算し、3時間毎にwebページ予測情報を更新した(図-12)。

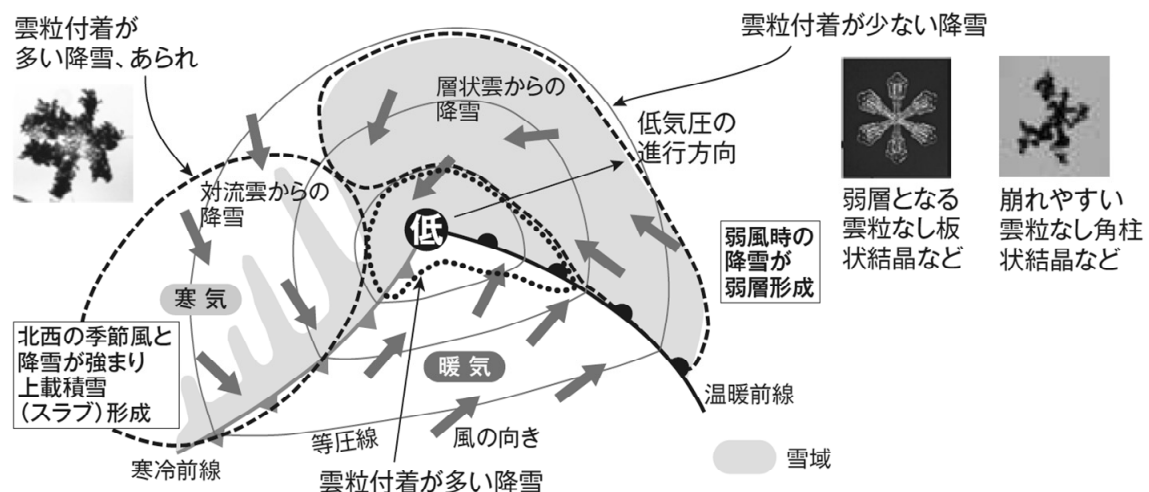


図-9 低気圧の降雪から降りやすい結晶形とその範囲の模式図(中村ら, 2013を改定)

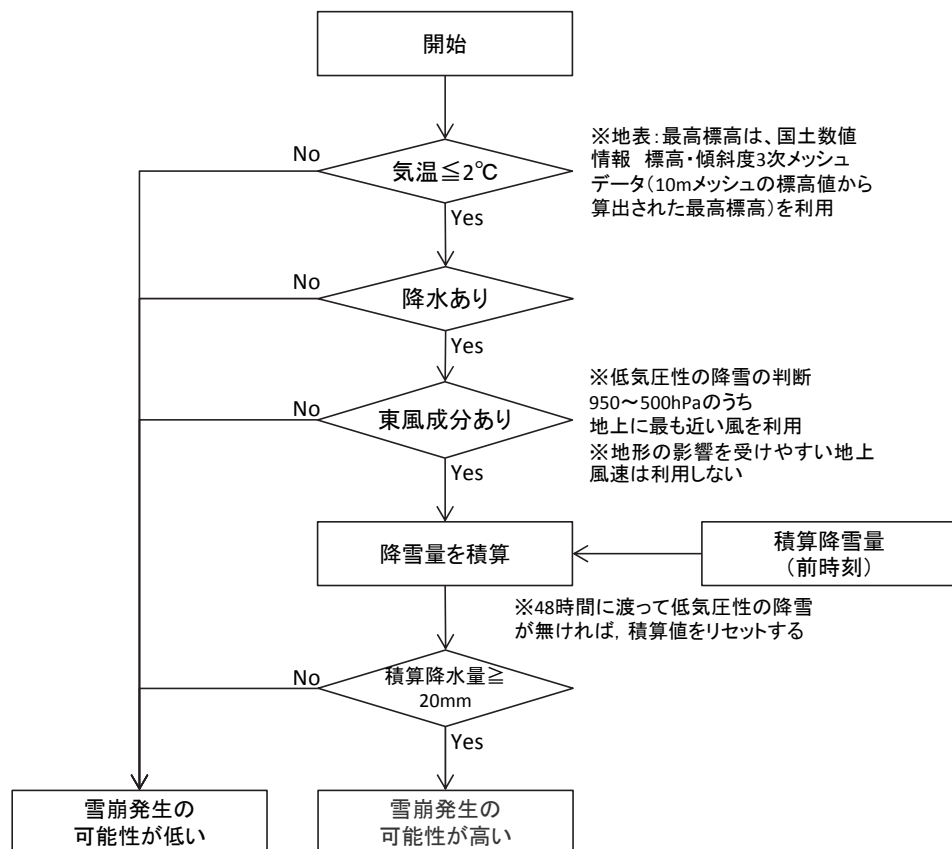


図-10 低気圧性雪崩の予測アルゴリズム (概要)

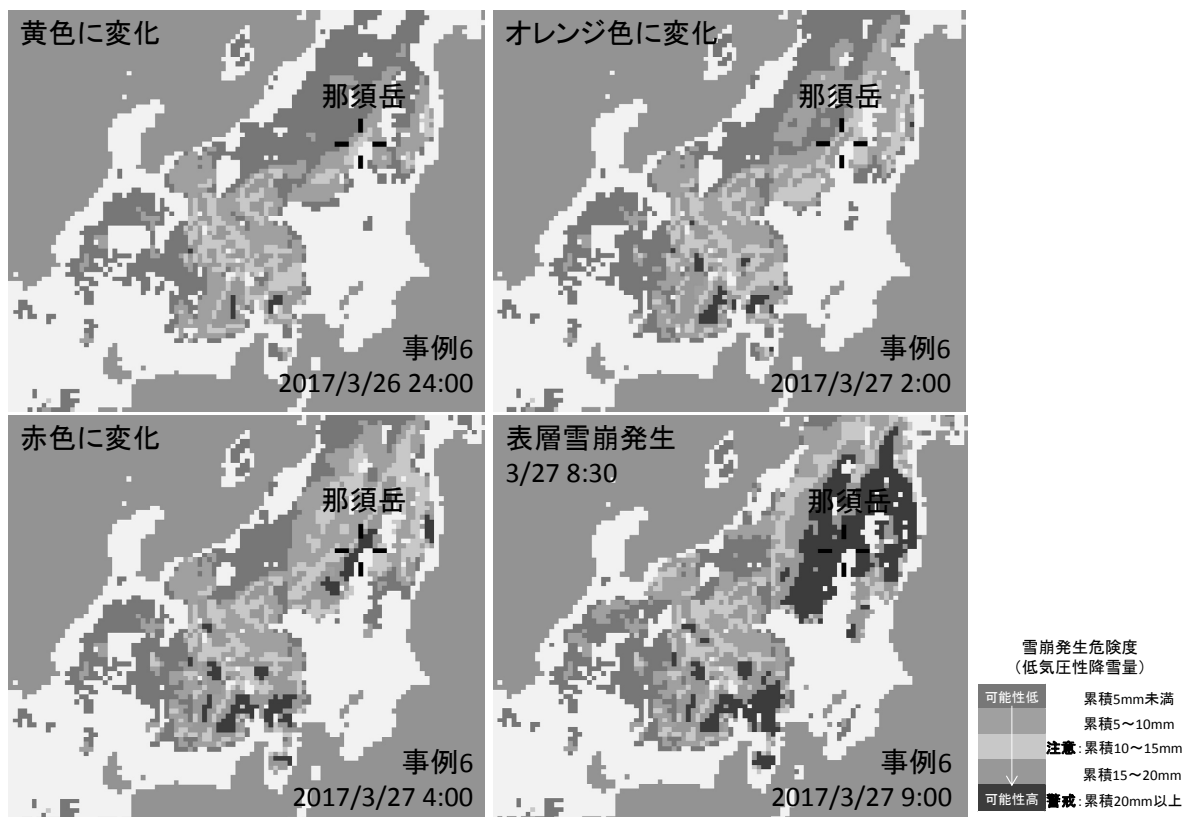
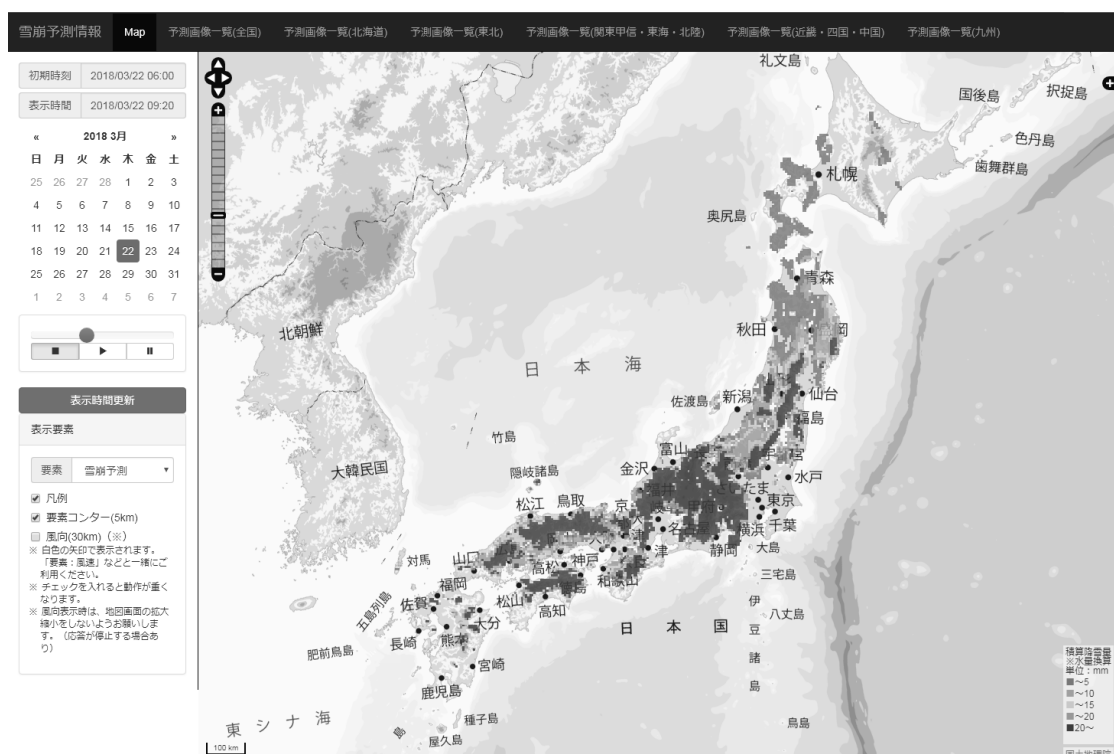


図-11 事例6: MSM データを用いた那須岳の雪崩発生危険度 (2017年3月26～27日)



図ー12 情報の表示例（雪崩危険度予測（積算降雪量））

3.4 検証

北は北海道から南は三重県までの全国29名の山岳関係者、研究者、インフラ管理者などに協力者として参加頂き、2018年1月～3月にweb予測システム試験運用を通じて雪崩危険度情報を配信し、検証作業をスタートさせた。

試験運用期間中の2018年1月～3月の試験運用webページへ合計57のIPからアクセスがあり、アクセスされた回数は494回に達した。

4. 雪崩教育普及プログラムの開発と実践

本研究プロジェクトの「啓発普及」分野では、今科研の研究成果を基に、教育関係者や山岳団体等へも本研究成果の普及を図ること、そのための雪崩教育普及プログラムを開発することを目標とした活動を実施した。

具体的には、各都道府県の高体連登山専門部等で今冬に開催される登山研修会等で、開発した雪崩教育普及についてのプログラムを実施した。プログラム中には、今回の研究成果である低気圧に伴う降雪が引き起こす表層雪崩についての注意喚起も含めることとした。

4.1 雪崩教育普及プログラムの作成

雪崩教育普及プログラムの作成にあたり、プログラムの流れを、①積雪と雪崩、②雪崩リスクマネジ

メント、③雪崩サーチ&レスキューとした。

①でまず積雪の基礎知識を身につけて雪崩とはどのような現象なのか、どのような発生の仕方をするのか等を理解してもらう。①では、可能な限り積雪断面観測等の実技時間を設ける。

続いて②で、雪崩にあわないためにはどうすれば良いのか、その基本的な知識について知ってもらう。②でも、可能な限り積雪安定度評価のための積雪断面観測や積雪安定度テストの実技時間を設ける。

次に③では、雪崩にあってしまったらどうするか、についてその基本的な知識とスキルを身につけてもらう。③では、ビーコン、プローブ、シャベル等の雪崩捜索用具の扱いについて実技を通して身につけてもらい、さらに、雪崩遭遇時のパーティー内での初動捜索と救助（コンパニオンレスキュー）についての模擬実技を実施して実践的なスキルを身につけてもらう。

なお、本プログラム作成では、本稿の著者の中村、榊原らが執筆編集した『雪崩教本』（2017）の内容を参考とし、また同本中の内容を多数引用した。さらに、本科学研究費の研究成果のうち雪崩教育普及に資する情報を抽出して新たなスライドを作成して加えた。

各プログラムのコンテンツは以下のとおりである。

①積雪と雪崩

- ・降雪と気象・積雪とその変化・雪崩の分類（表層雪崩、全層雪崩）

- ・雪崩の運動形態・雪崩の発生メカニズム
- ②雪崩リスクマネジメント
 - ・雪崩リスク・行動の意思決定
 - ・雪崩ハザード評価と用いる情報
 - ・積雪観察とその手法
 - ・積雪の安定性評価（弱層テスト）
 - ・雪崩対策の装備
- ③雪崩サーチ&レスキュー
 - ・雪崩による埋没と生存率
 - ・セルフレスキュー
 - ・コンパニオンレスキュー（ビーコン、プローブ、シャベル、1次救命処置）

4.2 状況判断力向上を目指した演習の開発

状況判断に関する能力は、雪山登山中に判断する機会に遭遇しなければ使用する機会がない。そのため、雪がない平地でもこの能力を向上できる机上演習を開発し、前段落で説明した講義および野外実習を行った後にこの演習を実施することで、この能力が向上できると考えた。

演習の状況設定（議題）は3月下旬の「雪山登山合宿の引率」とした。当初予定していた登山日を、悪天候を理由に1日ずらし、もう日程変更ができない条件の下で、雪山登山引率中に、1人の部員からワッフ音のような音が聞こえたという報告を受けて、登山を続けるか下山するかを引率者が判断する、という設定とした。演習の受講者に「状態変化対応能力」を構成する3つの要素をもとにした図-13の演習資料を与えて、雪崩リスクを評価し、登山を続けるか下山するかを判断をしてもらうこととした。

演習の流れを図-14に示す。はじめに5人又は7人の班に分かれて議題として演習の状況設定を確認してから、登山を続けるか下山するかを受講者が一人で判断する。次に班内で登山を選択した人と下山を選択した人でそれぞれグループを作り、グループ間で議論する。最後に班としての最終的な判断を決定し、各班の代表者による発表を行って議論した成果を共有する。

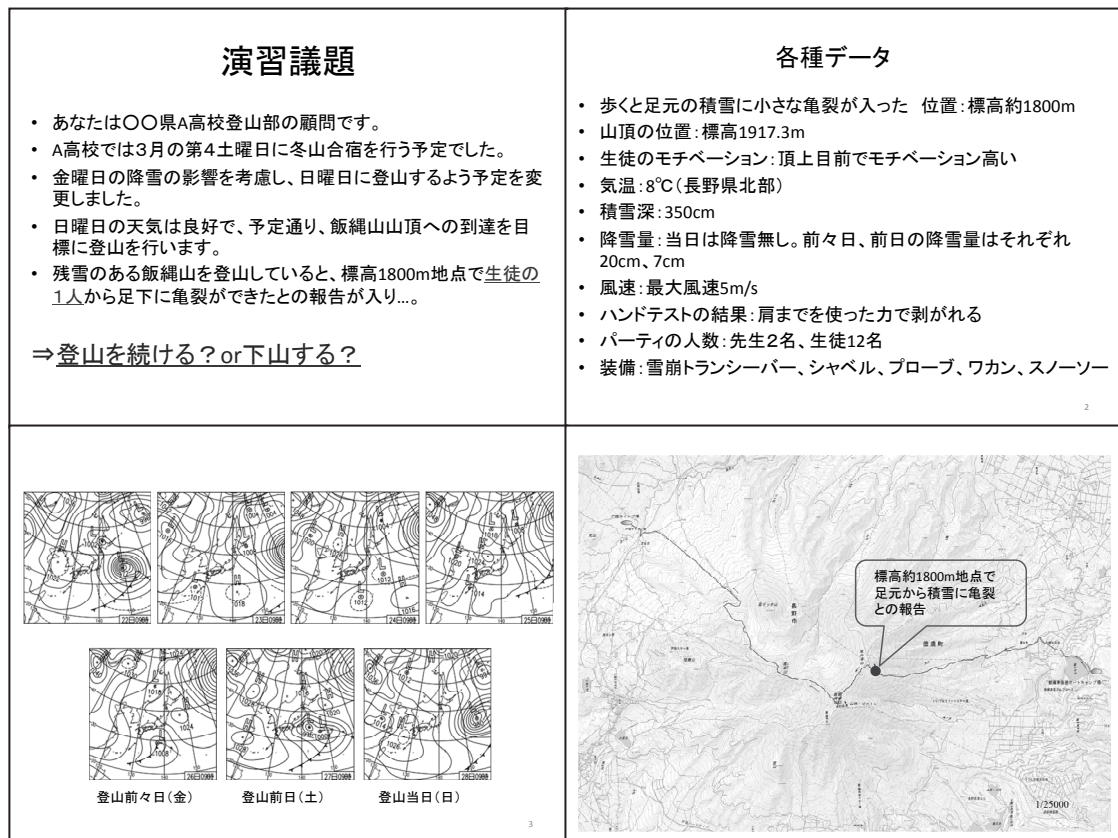


図-13 演習資料

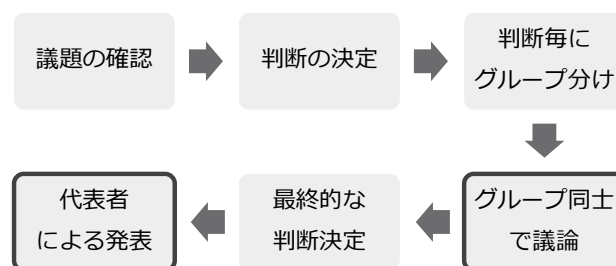


図-14 演習の流れ

4.3 講習の実施

主に都道府県の高体連登山専門部の協力を仰ぎながら、表－1の7県で実施した。講師は「雪と雪崩の科学」、「雪崩リスクマネジメント」と「雪崩サーチ&レスキュー」に関しては、本研究プロジェクトに参加している雪氷災害および雪山登山の専門家が担った（図－15）。状況判断力を向上する演習については、雪氷災害および雪山登山の専門家ではない者が司会進行を行い、雪氷災害および雪山登山の専門家が議論のフォロー、および演習最後の講評を行った。

「雪と雪崩の科学」、「雪崩リスクマネジメント」と「雪崩サーチ&レスキュー」の実施形態は会場によって異なる。講習の時間がとれない場合は、講義のみとしているが、時間がとれ、かつ会場近辺に雪のある場所が確保できた場合には野外実習も合わせて行っている。

今後の課題として、この種の雪崩教育普及のための研修会を継続して実施していくためのシステム作りが必要不可欠である。各県とも、50代の顧問教諭が主流で後継者不足であり、若い山岳部顧問教諭の養成は喫緊の課題となっている。今冬の研修会は、これまで各県の高等学校体育連盟登山専門部などで行われてきた研修会に便乗する形で開催し、雪崩教育の講師として研究者等の専門家があたることができた。しかし今後は、各県の高体連と研究者等が連携を取りながら、雪崩教育の講師を地元の山岳関係者等から選任することが、継続性の観点からも必要であろう。そのため、今回実施した7県での雪崩教育普及プログラムは、可能な限り、近隣の山岳ガイドとともに実施するよう努めた。今回開発した雪崩教育普及プログラムを取り入れた研修会が、各県独自の雪崩教育普及指導者のもとで、継続的に実施されることが望まれる。

表－1 講習試行の概要

都道府県	期間	場所	備考
福島県	2017年12月25日	福島市	県高体連登山部冬季登山技術研究大会の一環として実施 「演習なし」
宮城県	2018年1月13日	蔵王町	県高体連冬山顧問研修会の一環として実施 「演習なし」
長野県	2018年1月20日	大町市	中信地区安全登山研究会研修交流会の一環として実施
三重県	2018年1月27日	四日市市	三重高体連登山専門部安全登山研修交流会の一環として実施 「演習なし」
新潟県	2018年2月2～3日	長岡市	県高体連登山専門部講習会の一環として実施
秋田県	2018年2月2～3日	秋田市	全県顧問冬山講習会の一環として実施 「演習なし」
群馬県	2018年2月16日	片品村	県高体連登山専門部冬山登山顧問講習会の一環として実施 「演習なし」



図－15 長野県中信安全登山研究会「登山技術交流研修会」での雪崩教育プログラムの様子

5. おわりに

雪氷研究者にとって、この事故は非常にショッキングであり、これまでの研究活動の在り方も考えさせられ。今回の調査は、このような雪崩事故を二度と起こさないことを第一の目的として行ってきた。今回の調査チームで行ってきたことは、単年度だけで完結することはない。今回のような雪崩事故を防ぐには課題も多く、南岸低気圧性の降雪による表層雪崩予測システムも災害防止につなげるためには、各地での観測に基づく検証が不可欠である。また、これらの情報を活用するための周知や広報活動もさらに進める必要がある。「那須雪崩事故を風化させず、二度とこのような災害は起こさない」ために、さらにアドバイスをいただければありがたい。

参考文献

宇都宮気象台（2017）：平成29年3月26日から27日にかけての大雪に関する栃木県気象速報，
http://www.jma-net.go.jp/utsunomiya/img/20170327so_kuhou_ooyuki.pdf（最終閲覧日2018年3月11日）．
平成29年3月27日那須雪崩事故検証委員会
（2017）：平成29年3月27日那須雪崩事故検証委員会報告書，
http://www.pref.tochigi.lg.jp/m01/documents/20171015_houkokusyo.zip（最終閲覧日2018年3月11日）．
中村一樹・佐藤友徳・秋田谷英次（2013）：降雪系弱層形成時の気象の特徴，北海道の雪氷，32，pp.14-17.
中村一樹・上石勲・阿部修（2014）：2014年2月の低気圧の降雪による雪崩の特徴，日本雪工学会誌，30，pp.106-113.
中村一樹・小杉健二（2016）C低気圧性の降雪により2014年2月9日に山形県西川町で発生した雪崩の特徴，防災科学技術研究所主要災害調査，49，pp.47-54.
雪氷災害調査チーム&雪崩事故防止研究会編
（2017）：雪崩教本，山と溪谷社，143pp.
2017年3月27日に栃木県那須町で発生した雪崩災害に関する調査研究
課題番号 17K18453
平成29年度科学研究費補助金（特別研究促進費）
研究成果報告書 平成30年3月
目次
はじめに
第1章 現地調査結果
那須雪崩災害の現地調査…p.1

中村一樹・上石勲・根本征樹・小杉健二・山口悟・伊藤陽一・平島寛行・本吉弘岐・佐藤研吾・安達聖・阿部修・内山庄一郎・鈴木比奈子・飯田肇・西村浩一・河島克久・松元高峰・渡部俊・伊豫部勉・阿部幹雄・阿部直樹・竹内由香里・勝島隆史・近藤伸也

2017年那須雪崩災害調査へのUAV-SfMの適用…p.21

内山庄一郎・鈴木比奈子・上石勲・中村一樹

2017年3月27日に那須岳で雪崩災害をもたらした積雪の力学的特性…p.29

河島克久・松元高峰・渡部俊・西村浩一

第2章 地形情報及び雪崩災害資料の収集とその解析による各種データベースの作成

雪崩災害資料の地理学的分析を通じた地域災害特性の理解に向けた試み…p.35

鈴木比奈子・内山庄一郎・中村一樹

第3章 降雪状況の面的解析

降雪状況の面的解析…p.45

中井専人・吉田聡・荒木健太郎・出世ゆかり・岩波越・鈴木真一・橋本明弘・本吉弘岐

2017年3月27日の那須雪崩をもたらした低気圧の予測可能性…p.47

吉田聡

那須における表層雪崩発生に関わる低気圧性大雪の特性…p.52

荒木健太郎

MPレーダー解析による2017年3月26 - 27日那須近辺における降水と風の分布…p.58

中井専人・清水慎吾・前坂剛・岩波越・木枝香織
降雪による弱層形成に関する数値気象モデルを用いた再現実験…p.64

橋本明弘・本吉弘岐・山口悟・中井専人

低気圧に伴う降雪システムのKaバンド偏波レーダー観測…p.70

出世ゆかり・前坂剛・木枝香織・岩波越

第4章 雪崩シミュレーションを用いた被害範囲推定

那須雪崩の流下状況推定を目的とした流動シミュレーション…p.76

伊藤陽一・森口周二・小田憲一・西村浩一

第5章 低気圧性の降雪を起因とした雪崩にも対応可能な積雪変質モデルの開発

低気圧性の降雪を起因とした雪崩にも対応可能な積雪変質モデルの開発…p.84

平島寛行・山口悟

風および重力による降雪再分配を考慮した積雪層厚の空間分布予測と検証…p.90

松四雄騎・松浦純生

第6章 山岳域雪崩リアルタイムハザードマップの

試作

低気圧性降雪による表層雪崩危険度予測の試み…

p.96

中村一樹・根本征樹・本吉弘岐

地形条件・樹林条件からなる雪崩ポテンシャル箇所

抽出の検討…p.122

阿部直樹・中村一樹・上石勲

太平洋側地域に適用可能な雪崩発生危険度の評価方

法…p.128

吉川知里・河島克久・松元高峰

第7章 雪崩教育

雪山登山引率者を対象とした講習の試行…p.134

近藤伸也・飯田肇・中村一樹・上石勲・瀬谷旺二

郎

雪崩教育普及プログラムの開発…p.141

中村一樹・上石勲・飯田肇・榊原健一・近藤伸也

巻末 カラーページ…p.145

平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究 — 平成29年度科学研究費補助金(特別研究促進費) —

秋山 壽一郎*・重枝 未玲**

* 研究代表者 九州工業大学 名誉教授

** 九州工業大学大学院

要 旨

平成29年7月九州北部豪雨災害の総合的な調査・研究を行い、①今次豪雨の発生要因と機構、気象モデルによる線状降水帯の降水量の予測可能性と課題、②中小河川の洪水氾濫プロセスと浸水リスク、流木の発生状況と要因、流木の発生を止める森林保全や治山のあり方、③土砂災害の履歴、崩壊斜面の地形・地質と水文過程、土質・岩質が土砂流出量に及ぼす影響、同時多発表層崩壊発生時の土構造物の被災メカニズム、④土砂災害分布と発生機構、同時多発表層崩壊が土石流の流動特性に及ぼす影響、⑤今次豪雨災害に対する行政および地域対応と今後の備え、被災者支援の進捗状況、農業被害の実態を示した。

1. はじめに

平成29年7月5日正午頃に福岡県筑後地方から大分県日田地方にわたってバックビルディングタイプの線状降水帯が形成され、同日の夜にかけて停滞した結果、筑後川中流右岸流域(以下、筑後川右岸流域という)、遠賀川水系彦山川上流域、山国川上流域を中心に記録的な豪雨となった(国土交通省九州地方整備局, 2017)。特に筑後川右岸流域では、気象観測史上でも最大級の豪雨となり、死者・行方不明者38名、全壊家屋197戸、半壊家屋102戸、床上浸水1,195戸、床下浸水1,378戸の激甚災害となった(筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会, 2017)。気象庁は、5日から6日にかけて九州北部で発生した豪雨を「平成29年7月九州北部豪雨」(以下、「29年豪雨」という)と命名した(国土交通省気象庁予報部業務課気象防災情報調整室, 2017)。

筑後川右岸流域では、5年前にも線状降水帯を原因とする「平成24年7月九州北部豪雨」(以下、「24年豪雨」という)が発生しているが(土木学会九州北部豪雨災害調査団, 2013)、29年豪雨は、気象庁朝倉雨量観測所で511.5mm、日田雨量観測所で329.5mm、国土交通省鶴河内雨量観測所で532mmの12時間雨量を記録するなど、24年豪雨を大きく上回った。その結果、同流域の中山間地域では24年豪雨では見ら

れなかった同時多発的な山腹・溪岸の斜面崩壊や土石流・泥流が発生し、さらに一部の中小河川では「土砂・流木を伴った急激な出水」(以下、「フラッシュフラッド」という)も発生したため、24年豪雨とは別次元の大災害となった。特に赤谷川においては、上流域では斜面崩壊によって発生した大量の土砂・流木により河道が埋塞・閉塞し、中流域では支川(乙石川、小河内川)から流入した大量の土砂・流木も加わって、フラッシュフラッドとして谷底平野を流下した結果、河道埋塞だけでなく谷幅が広がったところでは流路変動も生じ、土砂・流木災害が平野全域に拡大するなど、想像を絶する被害状況となった。下流域では、中山間地域の外縁部から筑後川合流点までは勾配の緩い沖積平野であるにもかかわらず、フラッシュフラッドの直進や流路変動によって土砂が広範囲に厚く堆積し、筑後川合流点まで土砂・流木が達したため、沿川家屋や田畑等にまで被害が及んだ(筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会, 2017)。

赤谷川などで以上のような大災害となったのは、記録的な集中豪雨によって発生した大量の水・土砂・流木が、中山間地の上流域では土石流・泥流として、中流域と下流域ではフラッシュフラッドとして谷底平野と沖積平野を流れ下り、洪水・土砂・流木による複合災害となったためである。同様な災害



図1 各調査・研究グループの研究内容と相互の関係

は、高齢者グループホームで9名の人命が失われた平成28年台風10号による岩手県小本川などでも発生しており(天野, 2016), わが国の国土面積の約7割を中山間地域が占め, 1時間雨量が100mmを超える豪雨や局所的集中豪雨が近年増加傾向にあること(国土交通省気象庁, 2006)を踏まえれば, 中山間地域中小河川の豪雨災害がわが国の防災・減災における焦眉の課題であることに疑問の余地はない。国土交通省が全国の中小河川の緊急点検を実施し, 「透過型砂防堰堤等の整備」「浸水被害を解消するための河道の掘削・堤防整備」「低コスト水位計の設置」よりなる「中小河川緊急治水対策プロジェクト」(国土交通省水管理・国土保全局, 2017)に着手したのもその現れである。

本研究「平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究」は, 中山間地域の豪雨災害が焦眉の課題であるとの認識に基づき, 平成29年度科学研究費補助金(特別研究促進費)により実施したものである。

研究組織は, 九州工業大学, 九州大学, 京都大学, 静岡大学, 長崎大学, 新潟大学, 福岡大学, 山口大学, 琉球大学, 気象庁気象研究所, 国立研究開発法人防災科学技術研究所の11の研究機関の研究代表者・研究分担者21名, 連携研究者13名の計34名の研究者で構成され, 気象学, 水文学・河川工学, 地盤工学, 砂防工学および危機管理・生活再建の5グループで調査・研究を推進する研究計画とした(図1)。

各調査・研究グループの研究計画に沿って, 発災後から6ヶ月程度にわたって, 以下の[1]~[5]に示す研究課題について調査・研究を実施した。可能な範囲で24年豪雨との比較検討を行うよう努めた。

- [1] 九州北部豪雨の要因分析と予測可能性(気象グループ)
- [2] 中小河川の洪水氾濫と流木災害の実態解明(水文学・河川工学グループ)
- [3] 地盤災害の状況と被害分析(地盤工学グループ)
- [4] 斜面崩壊・土石流による土砂災害の実態把握(砂防工学グループ)
- [5] 防災準備と災害時の対応および農業被害の実態解明と生活再建支援(危機管理・生活再建グループ)

本稿では各グループの研究計画と成果の概要を示すとともに, [2]の中小河川の河川災害の実態解明に関する研究成果の一部を報告する。なお, 研究分担者・連携研究者のご紹介は, 「3. 各研究グループの研究計画と成果の概要」において, 研究成果報告書(秋山, 2018)のご担当分を参考文献として挙げることで代えさせていただいている。上記の課題の研究成果の詳細については, 研究成果報告書(秋山, 2018)を参照されたい。

2. 筑後川右岸流域の豪雨災害の概要

本研究で対象とした筑後川右岸流域と支川流域を図2に示す。同流域には, 本川の筑後川に加え, 支川の小石原川, 佐田川, 桂川, 奈良ヶ谷川, 北川, 寒水川, 白木谷川, 赤谷川, 大肥川, 花月川が貫流している。

同流域での3時間雨量および48時間雨量および流域平均雨量を図3に示す。雨量には, 国土交通省が運

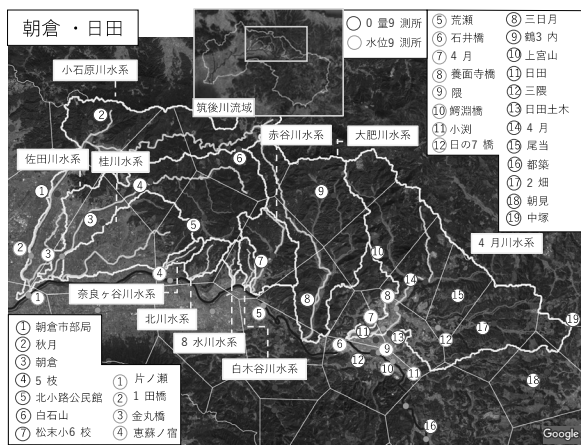


図2 筑後川右岸流域と支川流域

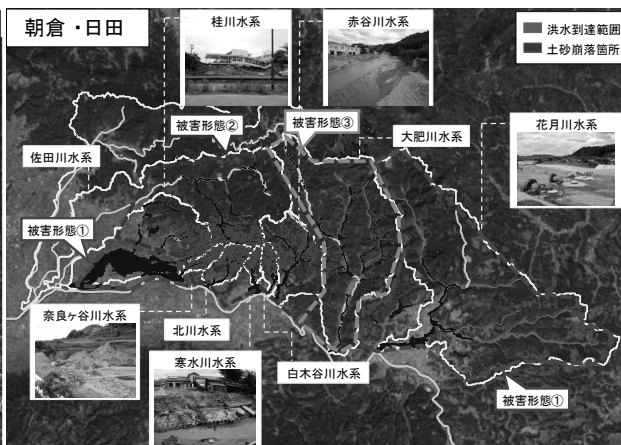
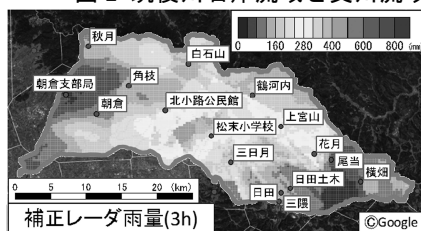
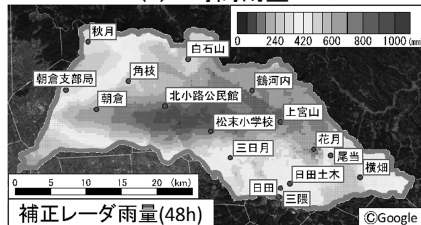


図4 筑後川右岸流域の被害形態



(a) 3時間雨量



(b) 48時間雨量

図3 筑後川右岸流域の雨量

用・管理するXRAIN(DIAS, 2017)を、流域内の雨量観測所の実績降雨に基づきダイナミックウィンドウ法(山口ら, 1993)と雨量限界値(山田ら, 2011)で補正したレーダ雨量を用いた。これより、本豪雨は、朝倉、北小路、松末、鶴河内雨量観測所を中心とした豪雨であり、北小路、松末雨量観測所間では、3時間雨量で48時間雨量の半分程度の雨量となっており、局地的な短時間豪雨であったことが確認できる。

この豪雨により、筑後川の片ノ瀬水位観測所と花月川の花月水位観測所で既往最大水位を記録した。一方で、多くの支川で水位計が設置されておらず、その状況は不明である。各河川流域の被害形態は、①流水による浸水被害を受けた流域、②大量の土砂や流木による河道埋塞に伴う流水被害を受けた流域、③大量の流木が橋梁に集積し、浸水被害を受けた流域の3つに分類(筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会, 2017)され、図4に示すように、被害形態①には桂川・花月川流域、被害形態②には佐田川上流域、桂川上流域、奈良ヶ谷川、北川、寒水川、白木谷川、赤谷川流域、被害形態③には大肥川流域が含まれる。被害形態①の桂川・花月川では、越水・溢水による外水と内水による広範囲な浸水被害が生

じた。被害形態②の佐田川上流域、桂川上流域、奈良ヶ谷川、北川、寒水川、白木谷川、赤谷川では、斜面崩壊や土流が同時多発的に発生し、河道の流下能力を超えた洪水が、大量の土砂と流木とともに谷底平野を流下し、河道の埋塞、橋梁部の閉塞を引き起こすとともに氾濫することで家屋・人的被害を拡大させた。被害形態③の大肥川では、流木が河道を閉塞することで、洪水氾濫が発生し、浸水被害が生じた(筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会, 2017)。

この災害によって、福岡・大分の両県で、2017年12月21日時点で死者39名、行方不明者2名(朝日新聞, 2017)、浸水面積1,913ha、床上浸水1,195戸、床下浸水1,378戸、全壊家屋197戸、半壊家屋102戸の被害が生じた(筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会, 2017)。国や県が管理する河川では堤防の損壊などが479件、緊急復旧工事が必要な大規模損壊が8件、斜面崩壊が300箇所(毎日新聞, 2017)で発生した。8月24日時点で被害総額は約2,200億円(日本経済新聞, 2017)となった。

3. 各研究グループの研究計画と成果の概要

各研究グループの研究計画と成果を以下に示す。

3.1 九州北部豪雨の要因分析と予測可能性

気象グループでは、今次豪雨の発生要因と発生メカニズムの解明、山地地形が線状降水帯の形成に及ぼす影響、24と29年豪雨の発生環境場の違い、線状降水帯による降水量の予測可能性の検討を目的として、気象庁非静力学モデル、Weather Research and Forecastingモデル、気象数値モデルによる数値解析、気象データ分析を実施する計画とした。研究成果は以下に示す通りである。

[1] レーダ雨量や気象衛星赤外面像等の気象データや気象庁メソモデルの解析データに基づき、今

次豪雨の主要因は、線状降水帯の発生と長時間の停滞であること、線状降水帯の発生環境場と関連する、九州北部に位置していた地表付近の収束帯の強化・維持には、東シナ海での太平洋高気圧の局所的強化と大陸から朝鮮半島の東方に南下してきた停滞性のブロッキング高気圧の双方が関与したこと、このような大気循環場の形成は、過去の事例との比較に基づけば、稀な現象であったことを示した(川村・川野, 2018)。

- [2] 観測データと気象庁非静力学モデルによる数値解析に基づき、線状降水帯の構造はバックビルディング型であり、積乱雲が発生・発達しやすい不安定な大気状態が持続する中、九州北部付近の地表には温度傾度帯が形成されており、温度傾度帯付近で積乱雲が次々と発生し、東西に連なることで線状降水帯が形成されていたことを明らかにした(津口・清野, 2018)。
- [3] 24年豪雨の発生環境場との比較に基づき、低緯度域からの東シナ海経由の水蒸気の流入は極端ではなかったが、下層大気の潜在不安定は非常に高く、対流圏中層に-7°C以下の寒気が流入していたことが短時間の降水量が多くなった要因であったことを明らかにした。また、脊振山地等を除去した数値実験から、脊振山地や九州北部の山地が線状降水帯の降水の集中化や強化に寄与していた可能性を指摘した(津口・清野, 2018)。
- [4] Weather Research and Forecastingモデルによる水平格子幅 167mの高解像度数値解析に基づき、線状降水系の停滞性と持続性の再現と福岡県南部地域で500mmを超える雨量の再現が可能であることを示した(竹見, 2018)。
- [5] 気象数値モデルによる数値解析に基づき、線状降水帯に伴う降水量の予測可能性を評価したところ、6時間積算雨量100mm以上の強雨域に30～40km四方の位置ずれが認められたが、予測された雨量を局地化すれば観測された最大雨量を予測可能であること、GNSS可降水量やレーダ動径風や反射強度とのデータ同化では、系統的な予測精度の改善が見込めないことを明らかにした(加藤ら, 2018)。

3.2 中小河川の洪水氾濫と流木災害の実態解明

水文学・河川工学グループでは、局地的集中豪雨による急激な中小河川の水位上昇、それに伴う大規模な洪水氾濫、多量の流木や流動化した土砂による河道埋塞などの被害拡大に至った要因とメカニズム、洪水到達時間の短い中小河川流域における危機管理対策や流木の発生を抑制する森林保全や治山のあり

方の検討を目的として、氾濫状況や流木発生状況の現地調査、室内実験、降雨流出・氾濫解析を実施する計画とした。研究成果は以下に示す通りである。

- [1] 降雨外力から流域流出、河道の洪水流、氾濫原の氾濫流を一体的に解析する降雨流出・氾濫解析に基づき、水文観測情報のない筑後川中流右岸流域の赤谷川や白木谷川等の流量・水位ハイドログラフと浸水状況を推定した(佐山, 2018)。
- [2] 花月川流域の現地調査と降雨流出・洪水氾濫解析に基づき、同流域の洪水氾濫プロセスについて検討し、24年豪雨災害後の夕田橋の付け替えに伴う水位低下により4.4km～5.2km区間を中心に浸水被害が減少したこと、浸水被害や構造物の被災は、大流量の流下に加え、河道線形や中規模河床形態等の河道特性が要因であったことを示し、同河川では流下能力の確保のみならず河道特性を踏まえた河川改修が必要であることを指摘した(秋山ら, 2018a)。
- [3] 桂川流域での降雨流出・洪水氾濫解析に基づき、朝倉、北小路公民館、角枝観測所のいずれかで10分間雨量が20mm以上あるいは流域平均10分間雨量が10mm以上で荷原川、桂川と荷原川の合流部周辺で浸水リスクが高くなること、桂川と荷原川の合流部の水位が16mを超えると浸水リスクが高くなることを示した(秋山ら, 2018b)。
- [4] 赤谷川流域の現地調査と降雨流出・洪水氾濫解析に基づき、斜面崩壊箇所の多くは48時間累積雨量が160mm以上であったこと、48時間累積雨量180mmを境に勾配20度の緩斜面でも崩壊が生じたこと、斜面崩壊箇所には比較的大きな掃流力が継続したことを明らかにした。また、斜面崩落による土砂供給のタイミングが河道変動や蛇行流路形成の速度に影響を及ぼすことを示した(秋山ら, 2018b ; 安田, 2018)。
- [5] 現地調査に基づき、流木の発生量と斜面の傾斜角および最大6時間雨量との間に相関があること、赤谷川流域では傾斜角10度以上の斜面地が潜在的な流木発生源であったこと、奈良ヶ谷川流域では可能最大流木発生量と同程度の流木が発生したこと、花月川流域では赤谷川などの他流域に比べて斜面崩壊地が少なかったため、流木発生量も少なかったことを明らかにした(矢野, 2018)。
- [6] 現地調査に基づき、流木の多くは針葉樹であり、過去の災害と比較して直径などの諸元は同様であるものの平地部まで到達した流木量は多いこと、土砂・流木の発生源である崩壊地のすべり面は根の生育限界よりも深く、流木を含む森林斜面崩壊土砂の到達距離は過去の災害と同程度

であること、砂防堰堤・治山堰堤は下流への土砂・流木量を抑制したものの、堰堤を埋没させるほど土砂量が多量であったことを示した。さらに、流木の流下被害軽減には、40度近い急傾斜地と溪床勾配約5度以上の溪岸で大木となった人工林の伐採、広葉樹の帯状の混植を進める森林管理が必要であることを指摘した(久保田, 2018)。

3.3 地盤災害の状況と被害分析

地盤工学グループでは、被災地の土砂災害発生履歴、崩壊・浸食・堆積土量と土砂流出メカニズム、表層崩壊発生場の予測手法、同時多発表層崩壊発生時の土構造物の被災メカニズムの検討を目的として、災害記録調査、土石流堆積物調査、崩壊斜面・ため池・道路・鉄道関連施設の現地調査と被災分析、室内実験を実施する計画とした。研究成果は以下に示す通りである。

- [1] 福岡県の既往災害記録と朝倉市山田地区の新旧土石流堆積物に対する調査研究に基づき、洪水・大雨に関する災害の発生間隔は福岡県全体(1630年以降)および朝倉(1896年以降)では、4年以下であること、朝倉市山田地区では過去に1151-1276年の間と1875-1976年の間に土石流が発生していた可能性があり、いずれの年代も史料における記事と対応していることを明らかにした。また、この2回の土石流の他にも土石流堆積物層が確認できることから、更に複数の土石流が発生していた可能性があることを指摘した(鈴木, 2018)。
- [2] 崩壊斜面の現地調査に基づき、今次土砂災害の特徴として、線状降水帯に沿った領域で表層崩壊が多発したことを示し、白木谷川流域での崩壊斜面の平均傾斜角は34.7度で、崩壊斜面の80%は傾斜角40度以下で発生したこと、斜面崩壊による発生土砂量は、寒水川、赤谷川上流部および奈良ヶ谷川流域では6割以上が変成岩質の斜面崩壊によるもの、乙石川、北川、赤谷川下流部および白木谷川流域では5割以上が花崗閃緑岩の斜面崩壊によるものであったこと、福岡県朝倉市白木谷川の花崗閃緑岩地帯において深層風化の程度を表す指標は、風化が進んでいないCMクラスから表層風化が進行しているDLクラスに区分されること、斜面崩壊地の頭部滑落崖背後では強風化部(地盤の硬さを示す換算N値 ≤ 4)が深度5.0mまで、崩壊地の側部では深度1.3mまで分布することなどを明らかにした。さらに、今次豪雨の斜面崩壊は、雨水浸透による斜面飽和度の上昇や斜面内地下水位の上昇によ

る斜面の不安定化だけではなく、斜面基部の洗掘消失による構造的な不安定化も要因であることを指摘した(安福ら, 2018; 笠間, 2018; 村上, 2018)。

- [3] 現地で採取したマサ土のせん断試験に基づき、同マサ土は、せん断時に過剰間隙水圧が発生しやすい性質を持っていることを明らかにし、今次豪雨による斜面崩壊発生機構が、豪雨時のすべり面液状化の発生であることを指摘した(福岡ら, 2018)。
- [4] 簡易貫入試験や引張破断強度測定に基づき、花崗閃緑岩を基盤とする斜面の浅部構造を把握し地表に平行に風化帯が発達していたこと、樹木根系による粘着力増分は深度方向に指数関数的に減少すること、無機質な地盤構成物の硬度と有機的な構成物による補強効果が表層崩壊のすべり面形成に影響を及ぼすことを明らかにした(松四・千木良, 2018)。
- [5] 土層厚の空間分布、樹木根系の土層補強効果と降雨浸透過程を考慮した斜面の安定性評価に基づき、地理情報システム上で表層崩壊の発生場を予測する手法の具体と課題を提示した(松四・千木良, 2018)。
- [6] ため池の現地調査と被災分析に基づき、福岡県朝倉市のため池では、4箇所の決壊、5箇所の損傷が確認され、ため池被害が最大3時間降水量の大きな地域に集中したことを示した(安福ら, 2018; 石蔵, 2018)。
- [7] 道路・鉄道関連施設の現地調査と被災分析に基づき、寺内ダムの洪水調節と流木補足により、ダム下流域では道路被害が低減されたこと、朝倉地区の道路被害の3分の2は、周辺斜面崩壊土砂の流入や沢や溪流からの雨水・土石・倒木の流入による被害であったこと、残りの3分の1は、洪水による浸食被害であったこと、道路被害発生箇所の3分の2程度は事後に湧水が確認されず、被害発生箇所は地下水位が高い場所だけでないことなどを明らかにした(安福ら, 2018; 廣岡, 2018)。
- [8] 今次豪雨災害の警報発令時刻とスネークラインの経時変化に基づき、土砂災害に対応した危険情報の早期提供には、尾根筋の豪雨を捉える位置での雨量の把握とリアルタイムのスネークライン情報が重要であることを指摘した(福岡ら, 2018)。

3.4 斜面崩壊・土石流による土砂災害の実態

砂防工学グループでは、土砂移動分布図の作成、流域形状・地質・降雨量と土砂移動形態との関係、

同時多発表層崩壊が土石流の流動に与える影響の検討を目的として、崩壊斜面の現地調査、空中写真の分析、土石流の数値解析を実施する計画とした。研究成果は以下に示す通りである。

- [1] 災害後の空中写真の分析に基づき、斜面崩壊や土石流などによる土砂移動分布図を作成し、山地小流域の流域形状・地質・降雨量と土砂移動形態との関係を示した(若月, 2018)。
- [2] 土砂災害危険度評価システムによる土砂危険度の時空間分布に基づき、土砂危険度が継続して高い流域において土砂災害が多発したことを示した(竹林, 2018)。
- [3] 土石流の数値解析に基づき、一つの溪流内に同時多発的に表層崩壊が発生した場合、土石流の流動特性として、一波目の土石流は多くの不安定土砂を巻き込んで規模が大きくなるが、二波目以降は不安定土砂の少ない溪流を流れ下るため規模が大きくなり、下流への流出土砂量はそれほど多くなり示した(竹林, 2018)。
- [4] 河川周辺の構造物の被災状況と流路形状の経年変化の調査結果に基づき、土砂流送が活発な急流河川では、流路形状が時間とともに変動し、橋脚周辺の浸食特性も時間とともに変化するため、橋梁の保守管理を実施するには流路変動についても注意する必要があることを指摘した(竹林, 2018)。

3.5 防災準備と災害時の対応および農業被害の実態解明と生活再建支援

危機管理・生活再建グループでは、今次豪雨災害時の行政と地域対応の課題と対策、被災者支援のあり方、農業被害の実態に基づく営農再開に必要な措置と課題の検討を目的として、地域防災計画と各種災害対応マニュアル等の資料調査、朝倉市・日田市・東峰村の自治体職員と朝倉市の地域コミュニティ協議会へのヒアリング調査、避難者の時系列的ならびに地理空間的データ整理による可視化分析、生活再建支援業務の実態調査、農業被害調査を実施する計画とした。研究成果は以下に示す通りである。

- [1] 資料調査、ヒアリング調査に基づき、事前の備え、今回の災害における対応と今後の課題を整理し、被災地では自主防災マップなど事前の備えが進んでいた一方で、自主防災組織が組織として機能していない実態や、地域によっては指定避難所が近くに、指定外の公民館などに避難せざるを得なかった実態を明らかにした。今後の課題として、自治体は、地域特性を考慮した上で、住民に早期避難を促す必要があること、降雨や水位観測に基づく、地域特性を考慮

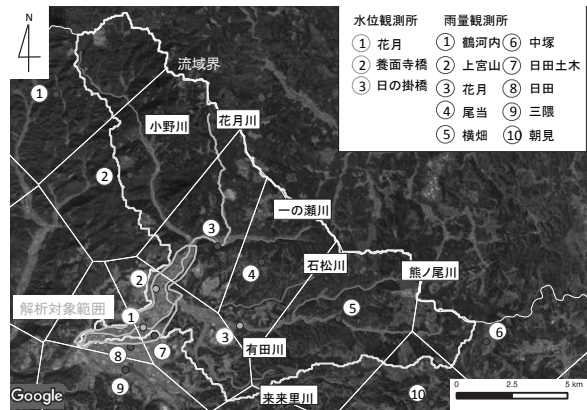


図5 花月川流域の概要

した避難判断基準を確立する必要があることを指摘した(神谷・吉田, 2018)。

- [2] 資料調査や生活再建支援業務の実態調査に基づき、避難者・避難世帯数の時系列変化と地理的空間分布を示すとともに、被災者生活再建支援業務が、過去の土砂災害と同様に「行方不明者の捜索」と「二次災害の回避」を優先させた結果、緩やかに進捗したこと、新しい形の生活再建支援業務として、「継続的な支援基盤をもった先進的な企業の支援の取り組み」「中間支援団体のニーズマッチングの調整」があったことを示した(田村・井ノ口, 2018)。
- [3] 農業被害調査に基づき、福岡県における農林水産被害については、朝倉市を中心に農地への土砂流入、冠水・浸水による被害が発生したこと、畜産関連施設等の被害については、朝倉市を中心に飼料倉庫半壊、牧草ロール流出、家畜水死、生乳廃棄、畜産用機械の損傷の被害が発生したこと、温室等栽培施設・機械の被害については、土砂流入、冠水・浸水によりハウスの全壊、一部損壊、付帯施設や機械の損壊等が発生したこと、農地・農業用施設の被害は9千か所を超え、被害金額も350億円に達したこと、赤谷川・白木谷川・寒水川の流域を対象に果樹園の被災状況を判別し、全体の40%が被害を受けていたこと、作目による大きな差異はなかったことを明らかにした。カキなどの果樹栽培農家では被害園地の廃園、後継者がいない農家で廃業も予想されており、被災後の営農状況については継続的な調査が必要であることを指摘した(山本, 2018)。

4. 中小河川の浸水リスクの把握

今次豪雨災害の特徴の一つとして、中山間地を貫流する中小河川で甚大な被害が生じた点がある。一般に、このような河川では洪水到達時間が短く、また水位観測も限られているため、降雨量が浸水リス

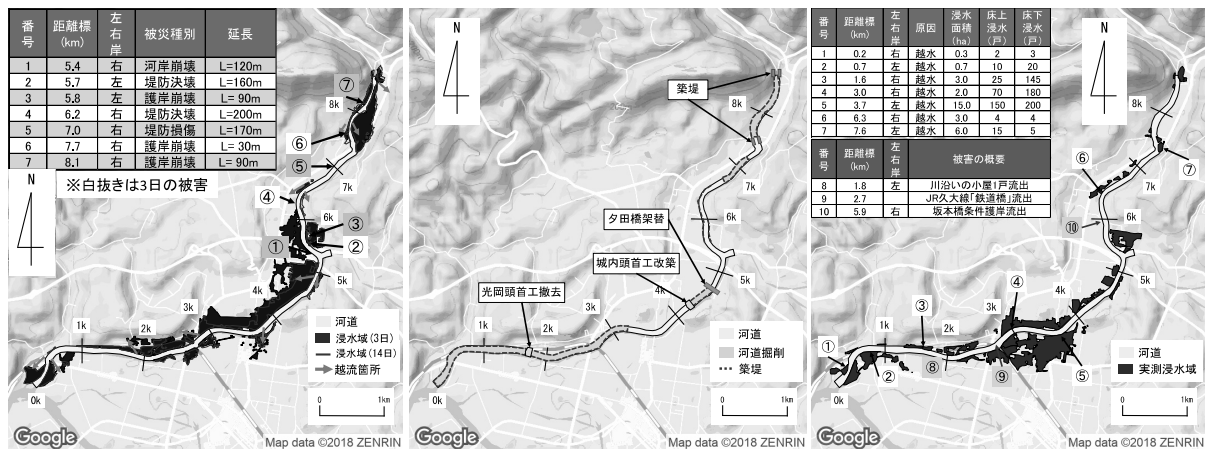


図6 24年豪雨による被害(左)、激特事業(中)、29年豪雨による被害(右)の概要

クを判断する情報となる。このようなリスクを把握するためには、降雨外力から洪水・氾濫の挙動をあらかじめ把握する必要がある。ここでは、「3.2 中小河川の洪水氾濫と流木災害の実態解明」の[2]で実施した花月川流域を対象にした流域流出・洪水氾濫解析と洪水氾濫プロセスの検討結果について述べる。

4.1 花月川流域と24年・29年豪雨災害の概要

(1) 花月川流域の概要

花月川は大分県日田市を貫流する流域面積130.2km²、流路延長59.6kmの筑後川支川である(国土交通省九州地方整備局, 2017)。本川との合流点から8.7kmまでが大臣管理区間、その上流が大分県管理区間である。直轄区間には、5つの堰と18つの橋が存在し、5.2km地点で有田川と、8.8km地点で小野川と合流している。3.38km左岸に花月水位観測所が設置されている。図5に、花月川流域の概要および観測所位置を示す。

(2) 24年豪雨による災害の概要

花月川流域では、平成24年7月3日と14日に2度の大きな出水が生じた。平成24年7月3日9:30に花月水位観測所で既往最大水位4.16mを記録し、その後、水位が低下したものの再度上昇し、7月14日7:30に4.37mを記録した(土木学会九州北部豪雨災害調査団, 2013)。図6に、7月3日の破堤2カ所、7月3日、14日の越水13カ所、浸水域を示す。浸水域は、距離標0~1km、距離標1~7km、距離標7km~の3つに分けられ、その要因は、大流量が流れたことに加え、距離標0~1km、距離標7km~では河道の流下断面の不足、距離標1~7kmでは破堤および夕田橋(距離標4.73km)での流木トラップによる河道の流下能力の低下であった。

(3) 花月川激甚災害対策特別緊急事業の概要

24年豪雨災害を受け、花月川・有田川は平成24年11月に激甚災害対策特別緊急事業(以下、激特事業)

の指定を受けた(工藤ら, 2015)。図6に激特事業の概要を示す。友田地区(0-1.7km)で掘削築堤護岸工事、玉川・丸の内地区(1.8-3.3km)で掘削護岸工事、光岡頭首工(1.8km)の撤去、2.8km右岸で樋管設置、城内頭首工(4.3km)の改築、夕田橋(4.73km)の架替、有田地区(4.3-4.73km)で掘削護岸工事、三和地区(5.5-7.3km)で掘削護岸工事、花月地区(7.5-8.7km)で掘削築堤護岸工事がなされ、平成28年度末までに概ね完了していた。河道掘削は高水敷の約2m切り下げを基本とし、夕田橋は旧橋の約30m下流に設置されて橋脚が3基から1基となり、桁下が約1m上昇した。

(4) 29年豪雨による災害の概要と激特事業の効果

29年豪雨では、7月5日19:50に花月水位観測所(3.38km)で、既往最大水位4.53mを記録した。図6に平成29年7月九州北部豪雨時の浸水域を示す。

24年、29年豪雨の浸水状況を比較すると、浸水面積はそれぞれ12.1ha、8.56haであり、約3割減少した。さらに、距離標4kmより、上流側では激特事業の効果により、浸水域が大きく減少している。一方で、距離標3km~4kmの左岸側では29年豪雨時の浸水域が大きくなった。この要因については、「4.3 結果と考察」で検討する。

4.2 解析の概要

29年豪雨時の花月川流域を対象に、レーダ雨量を外力とした流域流出・洪水氾濫解析を実施した。図5の解析対象範囲と花月川の大分県管理区間を、洪水氾濫解析の対象とした。解析には、著者らの開発した「流域流出・洪水氾濫解析モデル」(秋山ら, 2010)を用いた。

解析対象時刻は、平成29年7月5日14時から6日3時とした。降雨外力には、図3を用いた。分布型流出解析には、標高データとして数値標高モデル10m(国土地理院, 2018)を100mメッシュに補間したものを、土

地利用データとしてALOS2(JAXA, 1997)を用いた。洪水氾濫解析には、河道横断面データとして平成29年の測量結果を、粗度係数として推定粗度係数と逆算粗度係数を、氾濫原の標高データとして航空レーザ測量1mメッシュDEMデータを計算格子で平均化したものを用いた。下流端境界条件には、筑後川右岸流域を対象に実施した分布型流出・1次元河道網洪水流解析から得られた水位ハイドログラフを用いた(重枝ら, 2018)。

4.3 結果と考察

(1) 再現性の検証

図7に、29年豪雨時の痕跡水位、花月観測所の実測水位、浸水域と解析結果との比較を示す。浸水域には、調査結果(国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所, 2017)および解析結果より得られた越水箇所も合わせて示している。これより、本解析結果は、花月観測所の実測水位、痕跡水位、浸水域、越水箇所を十分な精度で再現できることが確認できる。なお、渡里川については、氾濫原として取り扱っているため、図7の浸水域のように、河道に沿って浸水深が大きくなる。また、花月観測所でのピーク流量は $1,340\text{m}^3/\text{s}$ 程度であった。

(2) 29年豪雨時の浸水プロセスの検討

図8に浸水深の経時変化を示す。図中には、流域平均降雨ハイトグラフ、花月観測所の水位・流量の解析結果、流出解析より得られた河道上流端の流量ハイドログラフも示している。なお、同図中の縦線の色は浸水プロセスの時刻と対応している。これより、今次豪雨時の浸水プロセスは次のようであったと考えられる。(1)7月5日の16:00頃には、流域平均10分間雨量が10mmを超える降雨があり、標高の低い箇所に降雨が集まり内水氾濫が生じる。(2)17:30頃には、再度、流域平均10分間雨量が10mmを超える豪雨があり、JR久大線鉄道橋付近の左岸を中心に、内水氾濫が拡大する。(3)花月川観測所の水位がピーク近くとなる19:20頃には、距離標0.2km付近の両岸、距離標1.5km、距離標3.0km付近の右岸、距離標3.8km左岸付近で越水が発生する。(4)その後、時間の経過とともに、氾濫水が河道へ排水され浸水域が減少する。

距離標0.8km付近においては、現地調査で右岸および左岸の堤防上および堤防付近の堤内地に細砂の散乱が確認され、右岸堤防上に流木の漂着が確認されたことから、下流域において外水氾濫が発生したと考えられる。一方で、解析ではそのような越水は確認されなかった。これは、この区間での河道横断面が短区間で変化しており、本解析ではそれを捉えることができず、同区間での水位を過小に評価したた

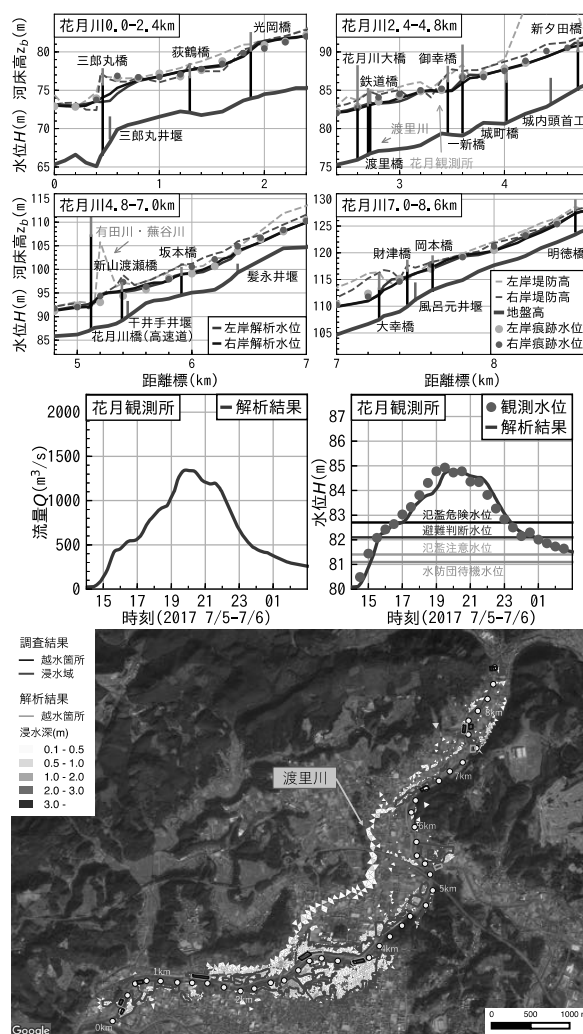


図7 29年豪雨時の痕跡水位(上), 花月観測所の実測水位(中), 浸水域(下)との比較

めと考えられる。

距離標5.2km付近では、図6に示すように、花月川と有田川の合流点付近において、花月川の左岸側に浸水域が確認される。この領域は花月川左岸堤防と県道676号線および背後の山地に囲まれており、蕪谷川が流れている。平成29年7月18日において、堤防上に細砂は確認されなかった。また、本解析でも花月川本川から、同領域への越水は認められなかった。このことから、本領域における氾濫は内水氾濫と推定される。ただし、本解析では蕪谷川を考慮していないことから、この内水氾濫を再現できていない。

(3) 距離標3km~4kmの左岸側での浸水

“4.1(2)”で述べたように、距離標3km~4kmの左岸側では、24年豪雨時に比べ、29年九州豪雨時の浸水域が大きくなった。本解析から、中流域の1.0~4.0km区間では、内水氾濫が生じ浸水深が大きくなった後、花月観測所の水位がピークとなる19:45頃に、距離標1.5km、距離標3.0km付近の右岸、距離標3.8km左岸付近で越水が発生し浸水域が広がったことが確認でき、

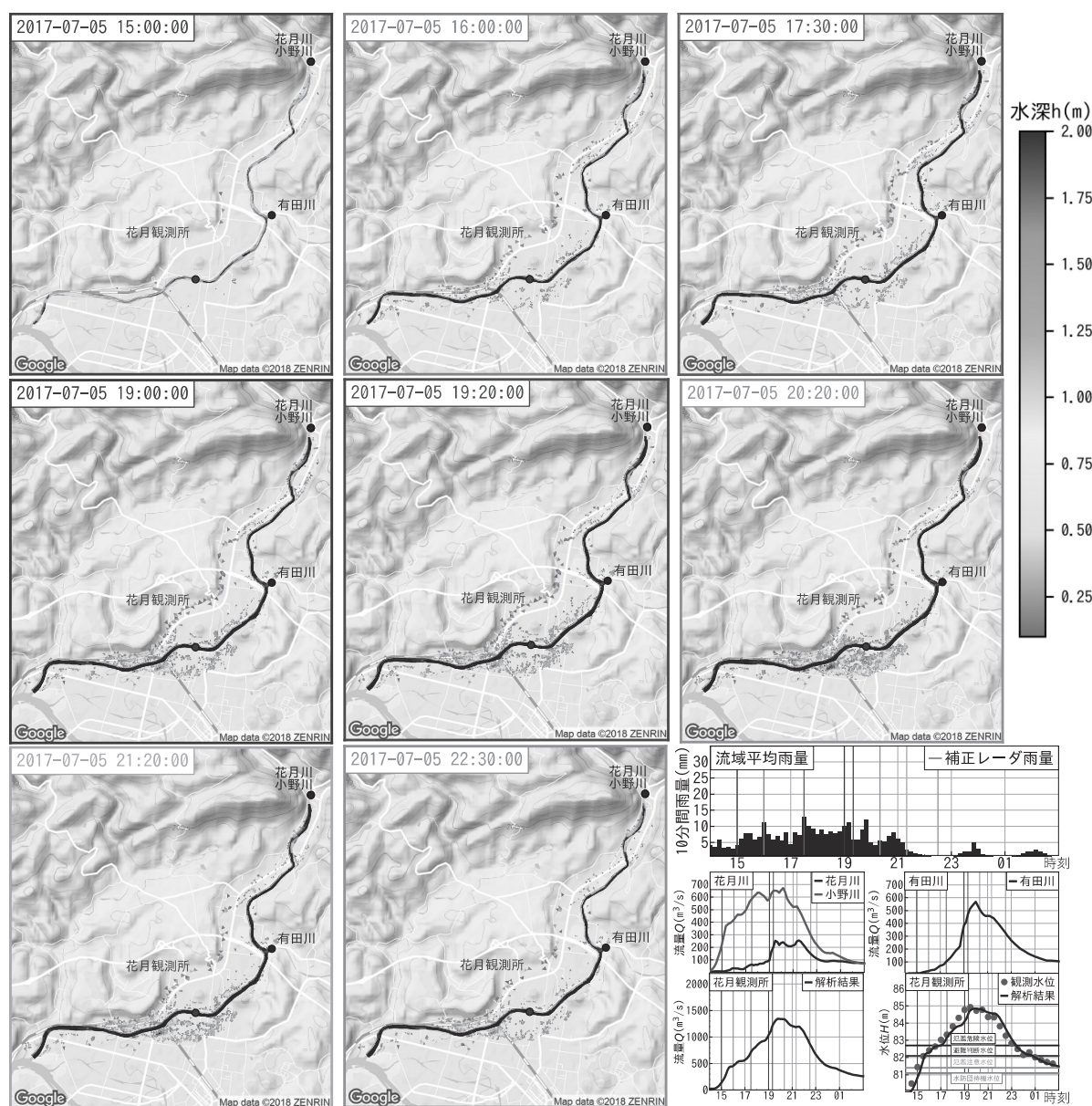


図 8 浸水深の経時変化

同区間では最初に内水氾濫が生じ、その後、外水氾濫が生じたと考えられる。また、同区間周辺での距離標3.0km付近の右岸、距離標3.8km付近の左岸のいずれも河道線形により水衝部となっている。そのため、同区間よりも上流側が改修され、流量の低減がなく、流れの慣性力が大きな状態で流れが水衝部に衝突し水位が上昇したため、越水が生じたと考えられる。このように、同区間左岸側の浸水域の増加は、内水氾濫に加え、大流量の流下と同区間の河道線形が要因であったと考えられる。そのため、同区間の改修にあたっては、流下能力のみならず、河道の平面形状等の河道特性を考慮した改修が必要と考えられる。

4.4 まとめ

本検討から、(1)流域流出・洪水氾濫解析モデルが、

29年豪雨時の花月川流域での痕跡水位、水位ハイドログラフの実測値や浸水域などを十分な精度で再現できること、(2)今次豪雨時の浸水プロセスは、図8のようであったこと、などが確認された。

流域流出・洪水氾濫解析モデルは、降雨を外力としているため、気象モデルの降雨予測結果を用いることで、流出解析のパラメータ推定には課題が残るものの、詳細な浸水予測も可能になる。今後、この点についても検討し、同モデルを中山間地の中小河川の浸水リスクを把握する上で有用なツールにしたいと考えている。

5. おわりに

本研究「平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究」では、中山間地域の豪雨災害が焦眉の課

題であるとの認識に基づき, [1] 九州北部豪雨の要因分析と予測可能性, [2] 中小河川の洪水氾濫と流木災害の実態解明, [3] 地盤災害の状況と被害分析, [4] 斜面崩壊・土石流による土砂災害の実態把握, [5] 防災準備と災害時の対応および農業被害の実態解明と生活再建支援について調査・研究を実施し, ”3. 各研究グループの研究計画と成果の概要”に示す成果をとりまとめた。本稿の研究成果は途中経過であり, その後も研究は継続されている。中山間地域の中小河川の豪雨災害については, 沖積平野の大河川と比較して, 水文観測(降水量, 河川水位, 河川流量など)や被災状況等に関する実績データも少なく, また基礎的な知見や解析技術等も不十分な状態にあるのが実情である。すなわち, 降水量と崩壊土砂(質と量)との関係, 崩壊土砂の細粒成分が流動土砂に及ぼす影響, 非定常性や非平衡性の強い洪水流やフラッシュフラッドの予測技術など, 解明・解決が求められる課題が山積している。本研究成果が中山間地域の防災・減災に向けた一助となれば幸いである。

謝 辞

本研究は, 科学研究費特別研究促進費(課題番号: 17K20140, 研究代表者: 秋山壽一郎)の助成を受けたものである。本特別研究促進費の交付にあたっては, 文部科学省開発局地震課防災室ならびに自然災害研究協議会の関係者の方々にご尽力を賜った。本研究の実施にあたっては, 標高データ等の基礎資料や現地調査等において, 国土交通省九州地方整備局河川部にご支援ご協力を賜った。さらに, 文部科学省の委託事業により開発・運用されているデータ統合・解析システム(DIAS)からデータの提供を受けた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

本研究の地盤工学グループの一員であった新潟大学災害・復興科学研究所 福岡 浩教授におかれましては, 平成30年6月5日に御逝去されました。ご生前のご厚情に深く感謝すると共にご功績を偲び, 謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

最後に, 平成29年7月九州北部豪雨災害でお亡くなりになられた多くの方々のご冥福をお祈り申し上げますとともに, 被災された方々に心からのお見舞いを申し上げます。

参考文献

秋山壽一郎(2018): 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.252.
秋山壽一郎, 鬼束幸樹, 重枝未玲(2018a): 花月川の被害状況と平成24年7月九州北部豪雨災害との比較,

平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.69-p.80.

秋山壽一郎, 鬼束幸樹, 重枝未玲(2018b): 中小河川の浸水リスクの把握, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.81-p.88.

秋山壽一郎, 重枝未玲, 小園裕司(2010): 流域特性を考慮した都市域氾濫解析モデルと都市域での浸水プロセスの予知, 水工学論文集, 第54巻, pp.919-924.
朝日新聞(2017): 12月22日.

天野邦彦(2016): 平成28年に発生した水害の概要と国総研の対応, http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/kouenkai/kouenkai2016/pdf/161208_10.pdf.

石藏良平(2018): 河川堤防およびため池の被災分析, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.165-p.176.

笠間清伸(2018): 斜面崩壊の形状分析と深層風化に関する現地調査, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.127-p.139.

加藤亮平, 下瀬健一, 清水慎吾(2018): 豪雨を引き起こした線状降水帯に伴う降水量の予測可能性, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.35-p.54.

神谷大介, 吉田 護(2018): 防災準備と災害時の対応, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.217-p.227.

川村隆一, 川野哲也(2018): 九州北部豪雨の発生環境場の解明, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.3-p.18.

工藤勝次, 永野貴也, 松本秀一(2015): 花月川激特事業での河川整備について, http://www.qsr.mlit.go.jp/n-shiryō/kenkyu/program/03/03_03.pdf.

久保田哲也(2018): 流木発生源と森林保全・治山, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.103-p.107.

国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所(2017): 平成29年7月九州北部豪雨の概要速報版.

国土交通省気象庁(2006): 気候変動監視レポート2006, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2006/pdf/CCMR2006_all.pdf.

国土地理院(2018): 基盤地図情報, <https://fgd.gsi.go.jp/download/mapGis.php?tab=dem>.

国土交通省水管理・国土保全局(2017): 全国の中小河川の緊急点検の結果を踏まえ, 「中小河川緊急治水対策プロジェクト」をとりまとめました, <http://www.mlit.go.jp/common/001212849.pdf>.

国土交通省気象庁予報部業務課気象防災情報調整室(2017): 平成29年7月5日から6日に九州北部地方で発生した豪雨の命名について, http://www.jma.go.jp/jma/press/1707/19a/20170719_go

- uumeimei.pdf.
- 国土交通省九州地方整備局(2017):梅雨前線に伴う平成29年7月5日出水について(第3報)【筑後川水系・遠賀川水系・山国川水系】, http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_kasen03.pdf.
- 佐山敬洋(2018):九州北部豪雨被災域の降雨流出特性と観測情報のない中小河川流域における洪水予測の課題,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.59-p.67.
- 重枝未玲, 秋山壽一郎, 中木翔也, 勝原亮介, 大久保剛貴(2018):平成29年7月九州北部豪雨時の筑後川右岸流域を対象にした分布型流出・1次元河道網洪水解析,河川技術論文集,第24巻, pp.445-450.
- 鈴木素之(2018):土砂災害履歴調査,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.119-p.125.
- 竹林洋史(2018):斜面崩壊・土石流による土砂生産特性と河岸・河床変動による被災,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.197-p.205.
- 竹見哲也(2018):停滞性降水系による豪雨の定量的評価と発生機構の解明,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.27-p.34.
- 田村圭子, 井ノ口宗成(2018):大規模水害・土砂災害における被災者生活再建支援過程の解明,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.217-p.227.
- 筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会(2017):筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会報告書, http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/tecforce/H29hokubugouu_data/171122houkokusyo11.pdf.
- 津口裕茂, 清野直子(2018):線状降水帯の”形成(発生)メカニズム”について,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.19-p.26.
- 土木学会九州北部豪雨災害調査団(2013):平成24年7月九州北部豪雨災害調査団報告書.
- 日本経済新聞(2017):8月24日.
- 廣岡明彦(2018):道路・鉄道関連施設の被災分析,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.177-p.184.
- 福岡浩, ハザリカ ヘマンタ, 権田 豊, 西井稜子(2018):斜面災害現地調査・発生機構・早期警戒,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.177-p.184.
- 毎日新聞(2017):7月13日.
- 松四雄騎, 千木良雅弘(2018):斜面水文および斜面崩壊過程の解明,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.141-p.151.
- 村上 哲(2018):溪流部における土砂発生機構,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.153-p.163.
- 安田浩保(2018):短時間での流路変動とそれに伴う氾濫域の拡大機構の推定,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.89-p.94.
- 安福規之, 笠間清伸, 石蔵良平, 廣岡明彦, 村上 哲(2018):地盤災害の概要,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.111-p.118.
- 矢野真一郎(2018):九州北部豪雨における流木災害の実態解明,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.95-p.102.
- 山口高志, 北川明, 小野寺直, 高水克哉, 幸弘美(1993):レーダ雨量計の精度向上について,河川情報研究, No.1, pp.91-104.
- 山田隆徳, 宮武真一, 小池仁治, 安部俊司, 小淵孝志, 今村英智, 柴卓(2011):部外雨量データの収集と利用について-他機関観測データ収集・高度利用装置の概要-, 測候時報, 第78巻, pp.141-161.
- 山本晴彦(2018):農業被害の実態解明と農営再開支援,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.237-p.252.
- 若月 強(2018):斜面崩壊・土石流の発生場所の把握と地形・地質との関係-特に,土砂移動分布図と土石流到達流域について-,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.207-p.214.
- DIAS(2017): <http://www.diasjp.net/service/xrain/>.
- JAXA(1997):高解像度土地利用土地被覆図ホームページ, http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/jlulc_jpn.htm.

2018年草津白根火山噴火に関する総合調査

小川康雄¹・青山裕²・山本希³・筒井智樹⁴・寺田暁彦¹・大倉敬宏⁵・神田徑¹・
小山崇夫⁶・金子隆之⁶・大湊隆雄⁶・石崎泰男⁷・吉本充宏⁸・石峯康浩⁹・野上健治¹・
森俊哉¹⁰・木川田喜一¹¹・片岡香子¹²・松元高峰¹²・上石勲¹³・山口悟¹³・伊藤陽一¹³・
常松佳恵^{8, 14}

1 東京工業大学理学院火山流体研究センター

2 北海道大学理学研究院

3 東北大学理学研究科

4 秋田大学国際資源研究科

5 京都大学理学研究科

6 東京大学地震研究所

7 富山大学大学院理工学研究部

8 山梨県富士山科学研究所

9 鹿児島大学地震火山地域防災センター

10 東京大学理学系研究科

11 上智大学理工学部

12 新潟大学災害・復興科学研究所

13 防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター

14 山形大学理学部

要 旨

2018年1月23日10時02分に草津白根山を構成する3山体（白根山・逢ノ峰・本白根山）の一つである本白根山鏡池北火口で1500年ぶりの噴火が発生し、噴石により人的な被害が発生した。この噴火は顕著な前駆的活動を伴わない水蒸気噴火であった。近年の草津白根火山では、白根山湯釜水釜火口を中心とする水蒸気噴火活動が顕著で、火山観測は白根山に集中している。一方で、今回噴火した本白根山では、これまでの最新の噴火が鏡池北火口での1500年前のマグマ噴火であって、近年、鏡池北火口付近には顕著な地熱活動は記録されていない。今回の突発的な噴火を受けて、以下の3点を明らかにするために総合調査を行った。

（1）顕著な前駆的活動がない水蒸気噴火プロセスの解明

（2）今後の火山活動の推移の予測，特にマグマが噴出する可能性の予測

（3）融雪泥流発生リスクの評価。

これらの研究のために、地震観測，地盤変動観測，熱観測，噴出物観測，地球化学観測，融雪泥流評価を実施した。これまでの研究成果について報告する。

1. はじめに

草津白根火山は、群馬県北西部に位置する活火山で、1805年以来、白根山山頂周辺を中心とする水蒸気噴火活動で知られている(Uto et al., 1983, 寺田,

2018)。これまで地球化学的研究(Ohba et al., 1994, 2000; Ohwada et al., 2003)や地震学的研究(Nakano et al., 森ほか, 2006)・測地学的研究(寺田ほか, 2014), 地球電磁気学的研究(Takahashi and

Fujii, 2011; Ogawa et al., 2016) が行われてきたが、これらの研究は、白根山の湯釜水釜火口周辺に集中していた。

2018年1月23日10時02分に草津白根山を構成する3山体（白根山・逢ノ峰・本白根山）の一つである本白根山鏡池北火口で1500年ぶりの噴火が発生し、噴石により人的な被害が発生した。この噴火は顕著な前駆的活動を伴わない水蒸気噴火であった。近年の草津白根火山では、白根山湯釜水釜火口を中心とする水蒸気噴火活動が顕著で、火山観測は白根山に集中している。一方で、今回噴火した本白根山では、これまでの最新の噴火が鏡池北火口での1500年前のマグマ噴火であって、近年、鏡池北火口付近には顕著な地熱活動は記録されていない。今回の突発的な噴火を受けて、以下の3点を明らかにすることを目的とした。（１）顕著な前駆的活動がない水蒸気噴火プロセスの解明（２）今後の火山活動の推移の予測、特にマグマが噴出する可能性の予測（３）融雪泥流発生リスクの評価。これらのうちで特に（２）（３）については噴火後の防災上重要な課題であり、地元自治体からの社会的な要請が強かった。

2. 観測班の構成

以上の研究内容を遂行するために以下のような観測班を組織した。

①地震観測班

青山裕（北海道大学）山本希（東北大学）筒井智樹（秋田大学）寺田暁彦（東京工業大学）

②地盤変動観測班

大倉敬宏（京都大学）神田径・寺田暁彦（東京工業大学）

③熱観測班

神田径・寺田暁彦（東京工業大学）小山崇夫・金子隆之・大湊隆雄（東京大学）

④噴出物調査班

石崎泰男（富山大学）吉本充宏（山梨県富士山科学研究所）石峯康浩（鹿児島大学）

⑤地球化学観測班

野上健治（東京工業大学）森俊哉（東京大学）木川田喜一（上智大学）

⑥融雪泥流評価班

片岡香子・松元高峰（新潟大学）上石勲・山口悟・伊藤 陽一（防災科学技術研究所）常松 佳恵（山形大学）

3. これまでの進捗状況及び成果

これまで得られた研究成果について以下に述べる。

3.1 地震観測

草津白根山では歴史時代の活動履歴に基づき、白根山湯釜火口周辺での噴火を想定した観測研究に重きが置かれてきた。今回の水蒸気噴火は、観測体制が整っていない本白根山側で発生し、噴火の前兆現象がとらえられなかったと気象庁から報告されている。草津白根山の過去の噴火事例では、水蒸気噴火が繰り返されたことがあり、より大規模な活動への発展の可能性が指摘されている。そのため、本白根火山周辺で手薄になっている地震観測点を緊急的に増設し、リアルタイムで地震波形データを伝送・集約できるテレメータ観測点を本白根山を取り巻く3箇所に設置した。設置作業は、1月27日から30日の間で、東工大・北大・秋田大・東北大のメンバーで行い、臨時地震観測点3点を設置し、設置当日から携帯電話回線を通じた常時テレメータを行い、東工大のデータ処理システムへ観測データを統合し、同時に気象庁へデータ配信を開始し、1月31日からは監視業務でも活用されることとなつて。地震データについては、データの共有化を強力に推進し、4月22日に湯釜近傍で発生した群発地震・傾斜変動イベントに際し、浅部熱水供給系の存在を示唆する長周期地震（卓越周期10秒）を検出するなど、草津白根山全体の火山現象の理解をさらに進めることに貢献している。

3地点の臨時観測点を追加し統合処理することで、本白根火砕丘周辺の地震活動の把握が可能になった。噴火から3か月前までのデータを再解析し、震源の時間空間変化・低周波地震の発生状況等の精査を行った。2018年1月23日噴火前後の火山性地震活動について、2018年1月23日噴火前は検測基準以上のものは月数イベント程度で、主にA型地震であることがわかった。噴火後・臨時観測開始以降は、多数のB型地震とハイブリッド型の地震が発生し、震央は、湯釜周辺と本白根山北側の2領域に集中している。2018年4月下旬には、湯釜周辺の地震活動が一時的に急増するイベントが発生し、本白根側の地震活動が静穏化している。

本白根噴火前の前兆的な微小地震活動については、Matched Filter法による微小地震の検出を行った。特に鏡池北火砕丘周辺の地震活動の様相を明らかにするために、当該領域で発生した地震をテンプレートとして、それらと波形相似性の高い微小地震を検出することによって、通常のルーチン処理に比べ数倍～10倍程度の地震(B型地震)を検出できたが、1月23日噴火直前の急激な地震発生数変化等の前兆的变化は明瞭には認められなかった。また、地震波干渉法による構造変化の推定を行った。噴火前後の火山体構造・熱水系の時間変化の抽出を狙い、草津白根山周辺の定常地震観測点の連続記録（雑微動記録）を

用いた。しかしながら本白根山の噴火前後で有意な変化は認められなかった。

3.2 地盤変動観測

1月23日以降の本白根火山の活動推移を把握するためには、地盤変動観測を観測し、熱水やマグマの動きを監視することが不可欠であるが、噴火当時のGNSSおよび傾斜観測網は本白根山から2kmほど北の白根山湯釜火口周辺に集中していた。そのため、本白根山直下の圧力源や深部の圧力源に対しては検出の分解能が低い。この問題を解決するために、2017年秋に整備してきた繰返し観測点を8箇所の中の5箇所について、連続観測が可能となるように機能強化することを図る。これにより本白根山直下のマグマの動きをリアルタイムに把握できるようになり、マグマ噴火への移行可能性を判断する材料を提供することができる。

本白根山噴火前後の地盤変動については、白根山湯釜をとりまく3点のボアホール観測点と地上観測点2点の傾斜計で詳細が捉えられた。噴火前の9時59分58秒から10時02分10秒まで湯釜南方が隆起を示し、噴火後10時02分10秒から10時10分00秒まで湯釜南方が沈降する傾斜変動が捉えられた。これらを本白根山鏡池北火口の開口クラックで説明することができる。開口量1.7m、噴火前の膨張体積42.5万 m^3 、噴火後の収縮体積30万 m^3 と推定された。

3.3 熱観測

熱観測では、本白根山を中心とする広域の空中磁気測量や熱赤外線撮影を、産業用の無人ヘリコプターを用いて稠密に行い、火山体内部の基盤構造や熱異常分布などを検出することを目指した。

3月19日に本白根火砕丘外側の東～北側斜面について、斜め赤外線画像を取得した。観測した範囲において、顕著な地表面温度異常は認められなかった。その後、草津白根山降灰合同調査班（2018）による5月5日、5月11・12日の現地における温度測定（接触式温度計および赤外線カメラ）でも、本白根火山3つの新火口周辺に地熱異常は認められていない。

火山体を構成する岩石中の磁性鉱物がキュリー点以上の温度になると磁性を失うことを利用して、地球磁場を測定することによって火山の温度構造やその変動を捉えることができる。3月6-7日および6月18日に無人ヘリコプターを用いた空中地磁気測定を行った。本白根山、逢ノ峰、草津白根山上空を対地高度100m測線間隔100mでカバーし、総飛行距離は約100kmに及んだ。2013年に国土交通省の実施した空中磁気測定データとの差を取ることで本白根山2018年噴火前後の変動を求めた。その結果、本白根

山火口周辺に顕著な変動は解明されなかったが、逢ノ峰の深部が消磁する広域的な傾向が見出され、2013年以降、逢ノ峰の深部が高温化していると推定された。

3.4 噴出物調査

噴火直後から3月にかけて、草津白根山降灰合同調査班（2018）による調査、および4月から5月に追加調査がおこなわれた。この調査では定面積法により計100点以上の堆積量データが得られた。1月23日の噴火の降灰は本白根火砕丘群鏡池北火砕丘北側の火口から東北東方向に伸びるような分布を示す。堆積量データを基に、Fierstein and Nathenson（1992）の手法により算出された噴出量は約3.6万トンである。

鏡池北火砕丘北面の2露頭において降灰産状調査が行われた。この2露頭では、1月23日噴火の降灰が積雪（ザラメ）に挟まれた状態で産出する。そのため、いずれの降灰堆積物も、融雪等による改変を受けておらず、噴火当時の堆積構造を保存していると判断される。層内には堆積の休止を示す浸食面や層理面が見られないため、これらの降灰堆積物は噴煙から連続して堆積した降下物層と判断される。2地点共に、全体として正級化構造をもち、降灰の下位には径4～5cmほどの放出岩塊（白丸）が点在することから、噴火初期に放出岩塊が噴出したと判断される。

降灰産状調査をおこなった2地点の火山灰についてXRD分析をおこなった。同定された鉱物種より、火山体内部では強酸性熱水による変質作用が生じていると推測される。また、石英はいずれの試料においても最も含有量が高く、構成粒子として多量に含まれることから、爆発地点の周囲には石英をおもな構成物とする珪化変質帯が広く存在すると予想される。

1月23日噴火では、鏡池北火砕丘頂部の火口内に形成された火口（主火口）とともに、鏡池火砕丘頂部の火口内と鏡池北火砕丘の西麓の2か所に火口が形成された（それぞれ、南火口、西火口とよぶ）。主火口は複数の火口からなる火口列を作っており、各火口のリム部で噴出物層の産状を観察した。各リム部に見られる噴出物層は全体に黒灰色であり、いずれも火山岩塊・ラピリを主体とする。層厚は最大で約3mであり、全体として正級化しているように見える。また、堆積物層中には明瞭な層理面が見られないため、一連の噴火で連続的に堆積したと推測される。各層の基底には噴出物により倒された樹木が見られ、噴火当時の積雪が残っている箇所も見られる。西火口では主火口・南火口とは異なる色調の火山灰も観察された。

1月23日の噴火の放出岩塊について全岩化学組成分析をおこない、既存の本白根火砕丘群のデータ（濁川ほか，2016）と比較した。本白根火砕丘群を構成する各火砕丘は、それぞれ固有の化学組成を有し、特に TiO_2 - SiO_2 図などで明瞭に区分される。1月23日の噴火の放出岩塊は、 SiO_2 に乏しく TiO_2 に富むという鏡池北火砕丘の特徴と一致した。

放出岩塊は主火口の北西～東北東に約500mまでの範囲に分布し、特に北～北東にかけて集中的に分布する。今回の調査で最も火口から離れた放出岩塊の確認地点は鏡池北の主火口中心から東北東約600m地点（振子沢）である。この方向の限界については吉本ほか（2018）で示されたゴンドラ搬器の損傷限界と整合的である。北西側は、主火口から約500m地点（ロープウェイ山頂駅西150m）、南東側は主火口から約450m地点まで放出岩塊が確認される。

長径64mm以上の放出岩塊の降下個数密度は、測定できた中で最も多かった主火口の東250m地点で 1m^2 あたり33個であった。この地点より北東側、火口近傍では個数密度が急激に増え、粒径も1mを超える岩塊が散見される。火口の北西から北東にかけての400m付近を境に、急激に個数密度が小さくなる。西から北西の分布限界では、個数密度 1m^2 あたり0.2～0.01個とすくないものの、長径約20cmを超えるものが点在する。一方、それより小さい粒径の岩塊は存在しない。東側の分布限界では鏡池北火口の東側から急激に個数密度が小さくなり、こぶし大の放出岩塊が散見される。

本調査で観察された放出岩塊のうち長径約20cmの岩塊の最大水平飛距離は400～550m、長径50cmの岩塊は350m、長径100cmの岩塊は250mである。初期速度を見積もったところ、直径200mm、到達距離500mとすると初期速度は少なくとも約76m/s、直径500mm、到達距離350mでは約60m/s、長径1000mm、到達距離250mでは約50m/sと推定された。

噴火時には、草津白根国際スキー場のロープウェイ40器が運行されており、そのうち28器が山麓駅に22器が山頂駅に格納された。本調査では、山麓駅に格納されていた40器のうち噴火当時使用されていた28器の被害状況を調査した。ロープウェイ山頂駅や搬器の火口と反対側部分に損傷があることは、噴石が比較的高い位置まで運ばれて落下してきた可能性が示唆される。

今回の噴火によって本白根山の鏡池北火砕丘から発生した噴煙は、草津町企画創造課が草津温泉スキー場山頂駅に設置したライブカメラで撮影されていた。その映像には、噴煙下部からノーズ構造を持ちながら斜面に沿って広がる流れが映っている。この映像を画像処理し、水平速度を求めたところ約10m

/sだった。これは、サージに先行して同じ方向のやや高い位置から広がる噴煙の2倍から3倍程度の速さである。また、ロープウェイのゴンドラに付着した火山灰の状況を確認したところ、山頂側では、火口に近い南側もしくは西側の窓に多くの火山灰が付着しているものが多かった半面、山麓側では、南側には火山灰があまり付着していないに関わらず、火口と反対側の北側の窓に顕著な火山灰の付着が見られるゴンドラが見られた。これは、ロープウェイの山麓側の経路の北側に谷筋があり、この谷地形に沿って、噴煙の一部が流れ下ったことと整合的である。すなわち、ノーズ構造を持ち地面を這う流れは小規模な火砕サージだったと考えられる。ただし、この流れの経路でも噴火発生当時に降り積もっていた。雪が解けていた形跡は見当たらないことから、温度はかなり低かったものと考えられる。

3.5 地球化学観測

噴火に伴う熱水環境の変化の検出のために本白根山周辺源泉及び白根山湯釜火口の湖水の繰り返し観測を実施した。本白根山麓の殺生河原から放出される噴気ガス組成について、繰り返し観測を実施した。また、殺生ヶ原にUV分光計を設置し、遠隔測定により新火口からの SO_2 放出の監視観測を実施した。

火山灰に付着した水溶性成分の化学分析から、1月23日の水蒸気噴火に関与した火山ガスの成分や温度を推定することができる。F、Cl、 SO_4 の分析の結果、草津白根山の湯釜あるいは本白根山山麓の万代鉱の熱水系に関与している火山ガスとは、異なる成分のガスであることが判明した。高温のマグマ起源のガスと推定される。本白根山中腹の殺生ヶ原や万代鉱の繰り返し観測を行ったが1月23日の噴火前後で顕著な変動は観測されていない。

3.6 融雪泥流評価

融雪泥流評価のため、噴出物の物性分析を行い、河川モニタリング機器を設置し、積雪水量分布調査を行った。空中写真と現地調査から噴石起因の雪崩や発生状況を図化し、噴石による融雪や雪崩発生の可能性を検討した。

冬期に積雪をともし火山では、噴火時に発生する融雪火山泥流だけでなく、噴火後の降雨や融雪に誘引される泥流発生のリスクが、噴火直後からしばらくの間高まる。2014年9月の御嶽山噴火では直後の融雪期である2015年4月20日に激しい降雨と融雪にともなう泥流が発生した。このようなことも踏まえ、複数の火山泥流発生シナリオに基づく、泥流流下モデルを作成した。

シミュレーションでの入力値には、なるべく実態に即すように、草津白根火山周辺における1月下旬・3月中旬での積雪調査結果(実測値)や火山噴出物(火山灰)の物理特性(実測値)を用い、火山灰分布については、予知連が発表した分布図に基づいた。大雨が降ることを想定したシミュレーションでは、1時間に100mmの降雨(極めて激しい降雨)があったと仮定した。また、連続雨量や融雪量は、御嶽山の例を参考としている。

なお、いくつかの想定によるシミュレーションを試行した。泥流流下シミュレーションでは、ソフトウェアとしてTitan2Dを使用し、固体と液体の二相流モデルを用いた。地形情報は国土地理院の縦横5m間隔の数値標高データに基づいた。シミュレーションの際に用いた初期入力値は以下の通りとした。谷沢川上流の振子沢流域の最上流で、今回の噴火口周辺を発生地点とし、面積に層厚(または降水量)を乗じた1)液相(雨・融雪水)の体積、2)固相(噴出物・雪粒子)の体積を用い、3)内部摩擦角は、噴出物試料の安息角の実測値を用いた。4)底面摩擦角については、10度、20度、25度とした。講演ではそのうち、25度の結果を示す。

また、想定される泥流発生を以下の3パターンとして計算を行った。想定A:融雪期の激しい降雨と融雪にともなう泥流(積雪はほぼ融雪水に変わる)。想定B:融雪期のシャーベット状泥流(層厚50cmの火山灰が、その上に積もった雪が雨や泥水とともに流れ出す。雪泥流を含む)。想定C:1月23日と同等量の小規模噴火による融雪泥流(積雪はほぼ融雪水に変わる)。

計算の結果、以下のリスク評価を得た。いずれの想定でも振子沢と振子沢一清水沢の間の沢に泥流が流下する可能性が高く、また一部の想定では、谷沢川にまで流入する可能性がある。また、国道292号(志賀草津高原ルート)と泥流の通過が交差する地点が見られた。

想定AやBのように激しい降雨の際に発生する泥流については、天気予報の情報などから、発生の可能性の高まりを推定することができる。連続雨量や時間雨量が大きくなった際には、危険箇所における通行を規制するなどの対策をとることが望まれる。

マグマ噴火の際の泥流は、火口より多方向に発生する可能性が高いこと、噴出量に応じて泥流の規模が大きく異なるため、想定Cとその結果は限定的なものである。

4. おわりに

以上のように、2018年1月23日に1500年ぶりに発生した本白根山の水蒸気噴火を受けて行った緊急観測研究について、その経過報告および現時点での研究成果を取りまとめた。水蒸気噴火は、マグマ噴火に比べて噴火の規模は小さいが、浅部で発生し前兆現象も捉えにくいと、今後とも重要な研究テーマである。長期的かつ広域的な監視観測研究や、地質学的な時間スケールによる研究の重要性が認識された。

謝 辞

文部科学省科学研究費補助金特別研究促進費「2018年草津白根山噴火に関する総合調査」(17K20141)による助成を受け、平成29年度および平成30年度に実施した研究の現時点までの成果をまとめたものである。また、文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」および「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」の支援も受けた。

参考文献

- 宇都浩三・早川由紀夫・荒牧重雄・小坂丈予 (1983): 草津白根火山地質図, 火山地質図 No.3, 地質調査所, 10p
- 草津白根山降灰合同調査班 (2018): 草津白根火山2018年1月23日噴火による降灰分布, 火山噴火予知連絡会資料
- 寺田 暁彦・神田径・大倉敬宏・小川康雄 (2018): 草津白根山・湯釜火口湖地下浅部への流体供給: 2014年3月以降の群発地震に伴う地殻変動と湖底熱活動の変化, 日本火山学会講演予稿集, B1-33
- 寺田暁彦(2018)水蒸気噴火発生場としての草津白根火山. 地質学雑誌, 124, 251-270,
- 濁川暁・石崎泰男・亀谷伸子・吉本充宏・寺田暁彦・上木賢太・中村賢太郎, 草津白根火山本白根火砕丘群の完新世の噴火履歴, 日本地球惑星連合2016年大会予稿集, SVC48-11
- 森健彦・平林順一・野上健治・鬼澤真也 (2006): 草津白根山における新たな地震観測システムの構築, 火山, 第51巻, 第1号, 41-47.
- 吉本充宏・本多亮・小森次郎・石峯康浩・山田浩之 (2018): 草津白根火山, 本白根山2018年噴火の放出岩塊による被害調査の速報, 地球惑星科学連合大会, 幕張, 千葉
- Fierstein, J. and Nathenson, M. (1992): Another look at the calculation of fallout tephra volumes, Bull. Volcanol., 54, 2, 156-167.
- Ogawa, Y., Nurhasan, Tank, S. B., Terada, A., Kanda, W., Nogami, K. (2016): Three dimensional magnetotelluric modeling of Kusatsu-Shirane volcano and its implications for recent volcanic unrest,

- presented at AGU Fall meeting, San Francisco, USA.
- Ohba, T., Hirabayashi, J. and Nogami, K. (1994), Water, heat and chloride budgets of the crater lake, Yugama, at Kusatsu-Shirane volcano, *Geochem. J.*, 28, 217–231.
- Ohba, T., Hirabayashi, J., and Nogami, K. (2000), D/H and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios of water in the crater lake at Kusatsu-Shirane volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 97, 329–346.
- Ohwada, M., Ohba, T., Hirabayashi, J., Nogami, K., Nakamura, K. and Nagao, K. (2003): Interaction between magmatic fluid and meteoric water, inferred from $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{36}\text{Ar}/\text{H}_2\text{O}$ ratios of fumarolic gases at the Kusatsu-Shirane volcano, Japan, *Earth Planets Space*, 55, 105–110, 2003.
- Nakano, M., Kumagai, H., and Chouet, B. A. (2003): Source mechanism of long-period events at Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, inferred from waveform inversion of the effective excitation functions, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 122, 149–164.
- Nurhasan, Ogawa, Y., Ujihara, N., Tank, S. B., Honkura, Y., Onizawa, S., and Mori, T. (2006): Two electrical conductors beneath Kusatsu-Shirane volcano, Japan, imaged by audiomagnetotellurics, and their implications for the hydrothermal system, *Earth Planets Space* 58, 1053–1059.
- Takahashi, K. and Fujii, I. (2014), Long-term thermal activity revealed by magnetic measurements at Kusatsu-Shirane volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 285, 180–194.

2017年台風18号により大分県中南部で発生した豪雨の特徴と 浸水被害の概要

山本 晴彦

山口大学大学院創成科学研究科

要 旨

2017年9月17日は台風18号や活発な前線の影響で豪雨となり、大分県と宮崎県の県境の祖母山系を中心に17日の日降水量が500mmを超える豪雨域が北西－南東方向に約20km、北東－南西方向に約10kmの楕円形状の豪雨域が形成されていた。大分県中南部の津久見市では17日の9時前後に第1のピーク、11時過ぎに20mm/10分間を超える豪雨に見舞われ、台風接近時の13～16時には東寄りの風が卓越して約10mm/10分間の強雨が継続し、日積算降水量427mmを記録した。本豪雨により津久見川や支流の彦の内川が氾濫し、標高が低い場所や両河川の合流点付近では最大150cm前後の浸水痕跡が確認され、住家の半壊、浸水被害が相次いで発生した。本災害による大分県内での住家被害は3,359棟に達し、洪水災害としては近年では甚大な被害であった。また、隣接する宮崎県北部の北川水系でも洪水災害に見舞われ、前年の2016年台風16号の浸水深を超える地域も見受けられた。

1. はじめに

2017年台風18号は9月17日11時半頃に鹿児島県南九州市に上陸した後、日本列島に沿って北上し、18日21時にサハリンで温帯低気圧となった。台風や活発な前線の影響で、南西諸島や西日本では24時間降水量が400mmを越え、各地で災害が発生した。ここでは、台風通過時に大分県中南部で発生した豪雨の特徴と浸水被害の概要を報告する。

2. 豪雨の特徴

図1には2017年9月17日15時における地上天気図（気象庁，2017），図2には2017年台風18号の進路と気象庁アメダスで観測された9月17日の日降水量の分布（図中の□は図3が表す領域を示す）を示した。15時の天気図では台風の中心気圧は975hPaで台風は北東進し、東方の東海地方から停滞前線が太平洋沿岸に沿って遠くさらに東方へ延びており、気象衛星「ひまわり8号」の赤外画像からは台風の強い雨雲が西日本を覆っていることがわかる（図は省略）。

図2に示した進路図では、台風18号は11時時点には薩摩半島の南海上に北東に進み、薩摩半島の先端を通過して12時頃に大隅半島の垂水市に上陸している。その後の13時と14時の位置は気象庁では確定されておらず、15時には日向灘、16時半頃に高知県西部の

宿毛市に再上陸し、18時には須崎市付近を通過し、四国を縦断して兵庫県に再上陸している。

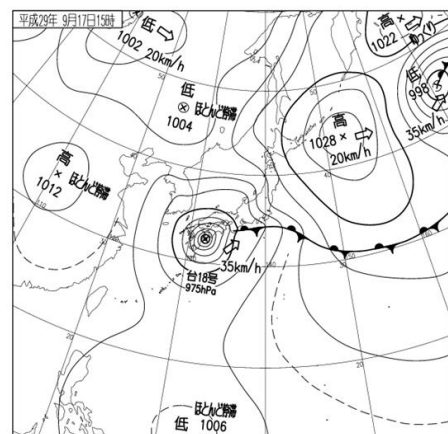


図1 2017年9月17日15時における地上天気図（気象庁，2017）

図3（その1，その2）には、大分県中南部、宮崎県北部、熊本県東部に位置するアメダスで観測された風向と風速（5段階表示）を示した。本報で解析対象とした大分県中南部の佐伯、宇目、蒲江では台風の接近により東風や北東風が吹いており、13時には東風が強まり、最大瞬間風速は台風が最接近した16時前後に蒲江で32.7m/s（15時51分）、佐伯で21.9m/s

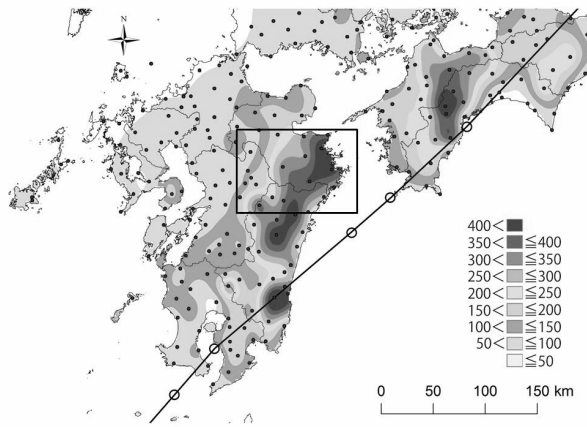


図2 2017年台風18号の進路と気象庁アメダスによる9月16日から17日の2日間の積算降水量の分布（図中の□は図3領域を示す）

（16時5分）を観測している。後述する台風通過時に豪雨に見舞われた大分県中南部の臼杵市、津久見市、佐伯市の一帯では、東寄りの風が卓越しており、豊後水道や周防灘からの暖湿流が流入していることがわかる。この結果、気象庁のアメダスでは9月16日から17日の2日間の積算降水量が宮崎市田野で491.5mm、同赤江で411.0mm、大分県臼杵で443.5mm、同佐伯で437.5mmなど、図2に示したように九州山地の南東側の地域で400mmを超える大雨となった。また、大分県佐伯市宇目では14時17分までの1時間に89.5mmの猛烈な雨を観測し、解析雨量では佐伯市付近で1時間に約110mm、津久見市付近で1時間に約120mmの雨となり、記録的短時間大雨情報が4回発表された。

図3には2017年9月17日における9時から17時までの毎時の時間降水量（mm）の分布を、図4には2017年9月17日に観測された日降水量（mm）の分布を示した。気象庁のアメダス観測点（図4では観測地点名に「気象」と明記された地点）は約17km四方に1か所しか配置されていないため、大分県中南部では豊後水道沿いに臼杵、佐伯、蒲江、内陸の大野川流域に犬飼、竹田、北川流域に宇目、宮崎県北部では五ヶ瀬川流域の延岡、北方、日之影、高千穂など、観測密度が比較的低いことがわかる。

この気象庁のアメダスを補完するため、一級河川を管理する国土交通省と二級河川を管理する各県の河川課、さらには国道の安全な通行を維持する目的から国道事務所や国道維持出張所等では、雨量計を設置してきめ細かな雨量観測を実施している。図4に示した大分県中南部から宮崎県北部にかけての東西80km×南北80kmの範囲でも、アメダスは14箇所（前述した以外には、古江、佐賀関、大分、湯布院）しか設置されていないが、これ以外に国土交通省の

河川課が31箇所、道路管理課が11箇所、大分県土木建築部が37箇所、宮崎県県土整備部が31箇所の計110箇所雨量観測を実施しており、これらの高密度の雨量観測から豪雨の詳細な空間的解析が可能となる。

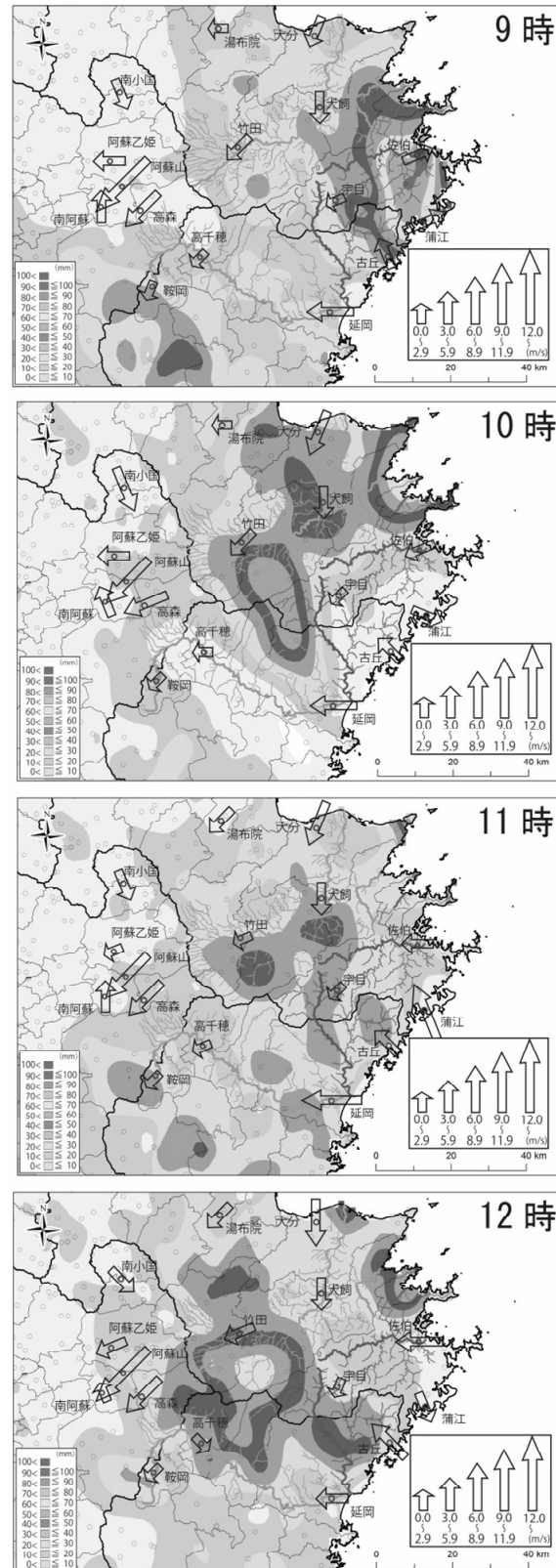


図3（その1）2017年9月17日における9時～12時の毎時の時間降水量（mm）の分布

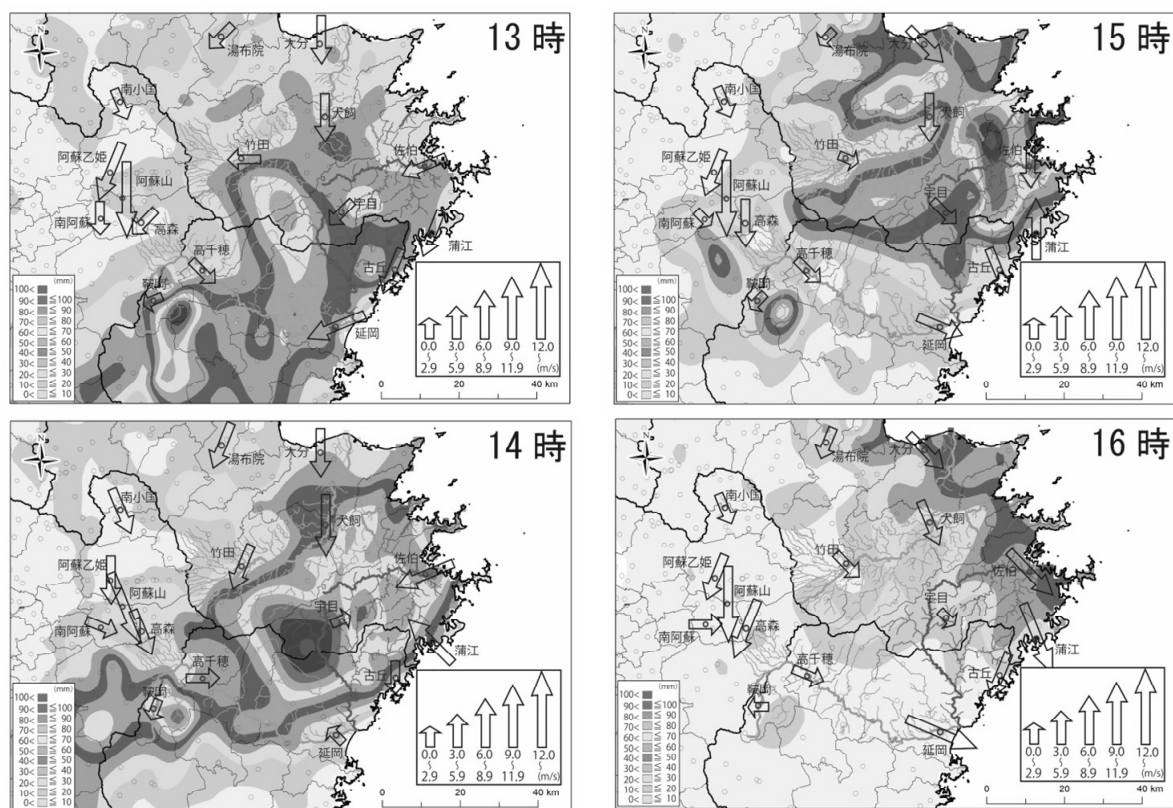


図 3 (その 2) 2017 年 9 月 17 日における 13 時～16 時の毎時の時間降水量 (mm) の分布

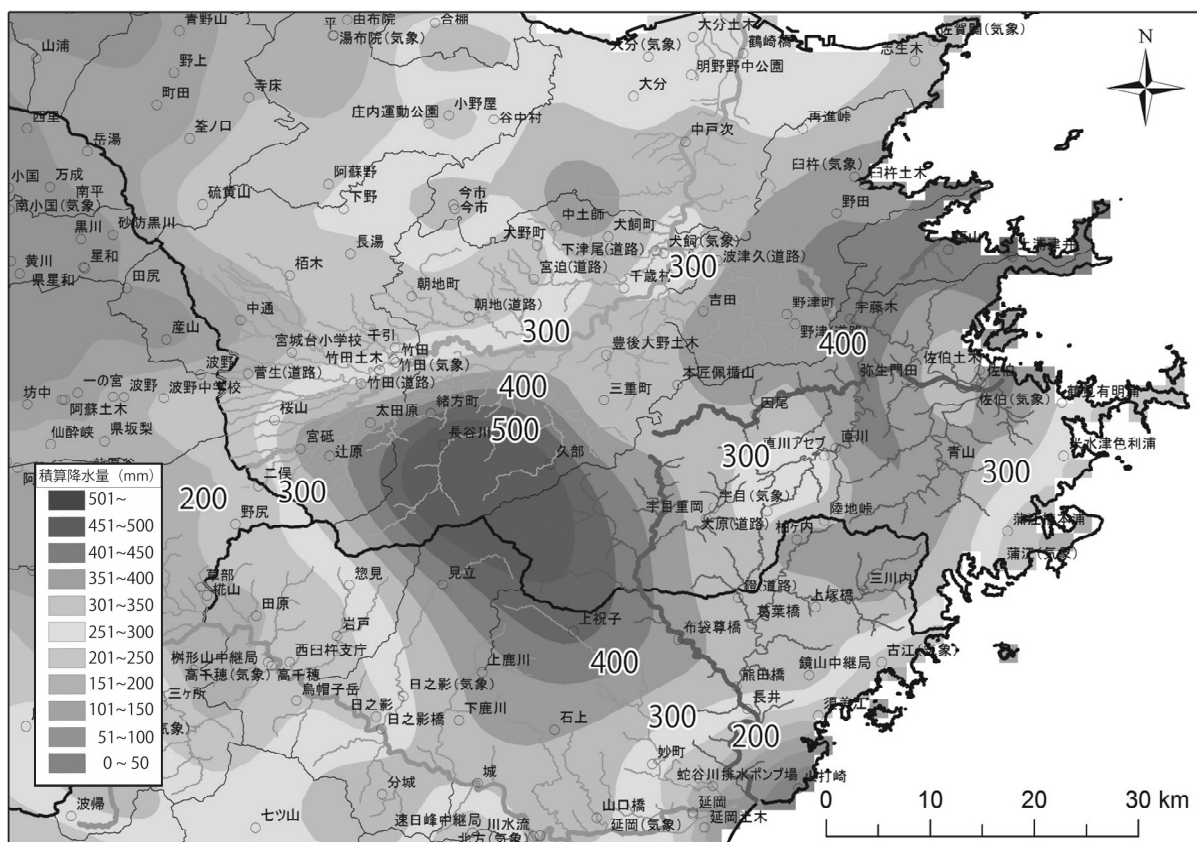


図4 2017年9月17日に観測された日降水量(mm)の分布

図4に示した17日の日降水量の分布を見ると、大分県南部と宮崎県北部にまたがる祖母山系（祖母山の標高は1,756mで、九州山地の最高峰）では500mmを超える豪雨域が北西－南東方向に約20km、北東－南西方向に約10kmの楕円形状に形成されている。この豪雨域の北東に位置する津久見市付近にも豪雨域が現れ、400mmを超える日降水量を観測している。

図3に戻り、降雨の推移に着目する。6時の時点では台風の位置が東シナ海にあるため、暖湿流の流入も弱いため宮崎県中南部以南で弱い雨域となっている。8時には台風が中心がトカラ列島の西側を北上しており、雨域も大分県と宮崎県の県境の祖母山系に認められる。さらに12時には臼杵から津久見にかけての豊後水道西岸で強雨を観測している。14時には雨量強度がさらに強まり、祖母山系では80mm、津久見市付近では60mmを超える豪雨となっている。17時には雨量強度も弱まり、豪雨が収束する傾向が確認できる。このように、図3に示された地上風から台風通過時に東よりの風が卓越したことにより、豊後水道や周防灘から流入した暖湿流によって津久見市付近で豪雨となり、さらに山越え気流が祖母山系に流入して豪雨をもたらしたものと推察される。

図5には、気象庁の臼杵、佐伯、宇目のアメダスで観測された2017年9月16日・17日の10分間降水量とその積算値、佐伯アメダスの風向、大野川水系の長谷川雨量観測所（大分県河川課所管）の時間降水量の推移を示した。臼杵では、16日未明から少雨が観測され、14時頃まで数mm/10分間の弱い雨を観測し、夕方以降は収束している。しかし、17日に入り6時頃から雨が再び降り出し、18時前まで最大20mm/10分間弱の豪雨に見舞われ、17日の日降水量は379.0mm、前日からの積算降水量は443.5mmに達している。佐伯でも同様な降水イベントに見舞われており、最大1時間降水量は84.5mm（～9：06）と臼杵（57.0mm、～14：21）よりも強雨に見舞われている。佐伯で観測された風向は、台風の通過時に東→北→西と変化している。また、祖母山系の東側に位置する宇目でも臼杵や佐伯と同様な降水イベントを示している。図4に示した地域で最も豪雨に見舞われた地点は、祖母山系の北に位置する大野川水系の長谷川雨量観測所で、最大12時間降水量で533mm、17日の日降水量が571mm、さらに2日間の積算降水量は664mmにも達している。このように、長谷川雨量観測所ではアメダスの3地点を大きく超える雨量を観測しており、集水した雨は大野川を流下し、流域の豊後大野市では洪水災害が発生した。

次に、津久見川の洪水により甚大な浸水被害が発生した津久見市の市街地において、9月17日の津久見（大分県河川課所管）における10分間降水量とその

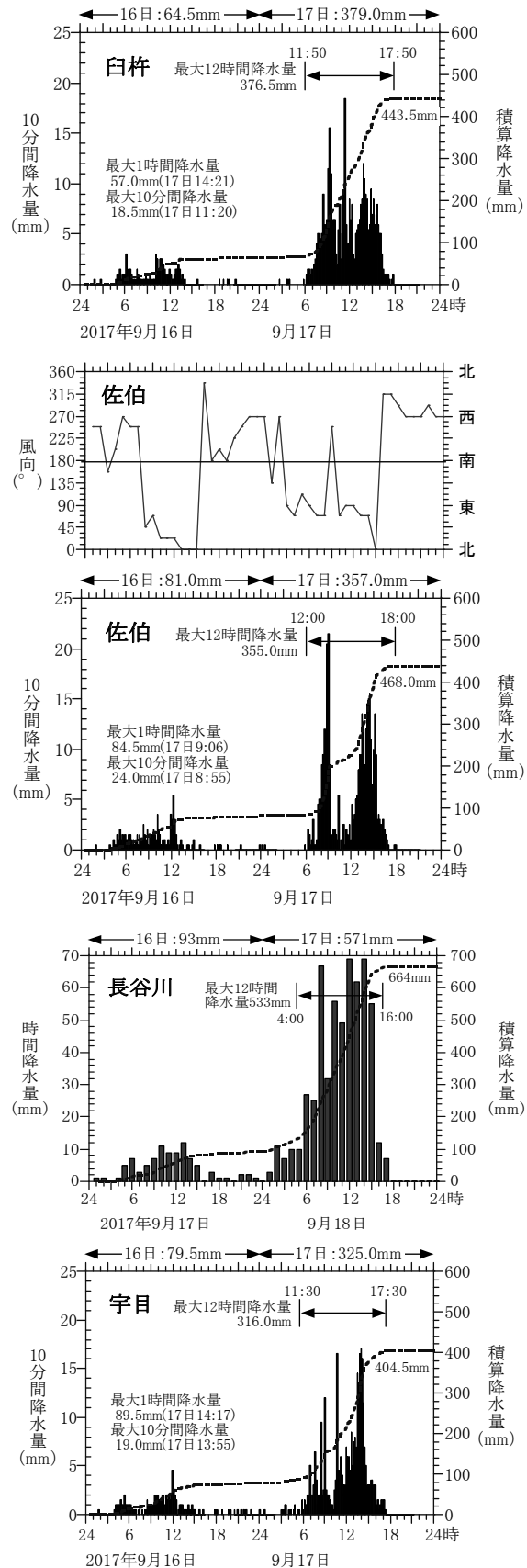


図5 臼杵、佐伯、宇目における10分間降水量、佐伯における風向、長谷川における時間降水量の推移

の積算値，津久見川下岩屋橋の水位（大分県河川課所管），警報・注意報・避難等の発令の推移を図6に示した。台風の接近に備えて前日の16日早朝には避難準備・高齢者等避難開始，大雨注意報が発令され，翌17日未明には洪水注意報も発令された。6時から降り出した雨は強まり始め，8時25分には大雨注意報が警報（浸水害・土砂災害）に切り替えられ，9時50分には土砂災害警戒情報，同時に避難勧告が発令された。10時57分には洪水注意報が警報に切り替えられ，11時20分前には津久見川の下岩屋橋の水位計がはん濫注意水位の1.50mを越えている。12時前後には雨が5mm/10分間前後とやや小康状態となったが，13時を過ぎて雨脚が再び強まり始め，16時前まで10mm/10分間を超える豪雨を観測した。大分地方気象台は14時37分に記録的短時間大雨情報（約120mm）を発令し，1時間後の15時40分にも2回目の記録的短時間大雨情報（約110mm）を発令している。本豪雨により津久見川の水位は再び急上昇に転じ，13時30分過ぎには避難判断水位の1.9m，13時50分直前にははん濫危険水位の2.3mを超えたことから，14時15分には避難指示を発令しており，15時20分には3.21mの最大水位に達している。16時を過ぎて雨脚が徐々に弱まりを見せ，水位も16時50分にははん濫危険水位を下回り，雨が降りやんだ18時過ぎにははん濫注意水位まで低下した。本豪雨により，6時10分から18時10分までの12時間降水量は426mmと記録的な豪雨を観測し，津久見市の市街地では津久見川とその支流の彦の内川の氾濫により甚大な浸水被害が発生した。

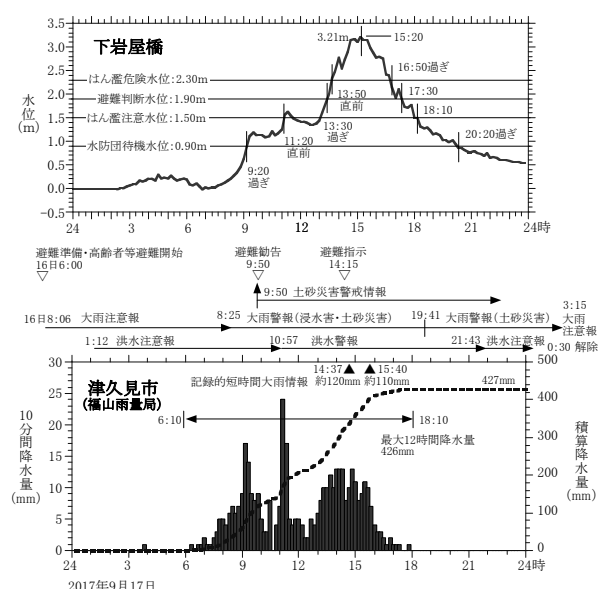


図6 津久見における10分間降水量とその積算値，津久見川下岩屋橋の水位，警報・注意報・避難等の発令の推移

3. 大分県における被害の概要

表1には，平成29年台風第18号による災害に係る被害状況（大分県防災危機管理課，平成29年10月18日17時現在）を示した。大分県内での人的被害は豊後大野市で死者1人（71歳男性，「田んぼの電気柵の様子を見に行く」と外出），大分市と臼杵市で軽傷者が3人・2人であった（大分県災害警戒本部，2017）。住家の被害は全壊が佐伯市，臼杵市，津久見市で各1棟であったが，半壊は津久見市で522棟（床上浸水の被害で甚大なものは半壊として判別）にも上り，床上浸水も津久見市で361棟，佐伯市で314棟に達し，臼杵市でも100棟を超えている。床下浸水は佐伯市，臼杵市，津久見市の3市でいずれも500棟を超え，大分市の200棟弱を加えて県全体で1,900棟にも達している。この結果，県内での住家被害は3,359棟にも達し，洪水災害としては近年では甚大な被害となった。また，非住家被害も津久見市の305棟を始め，県全体で578棟にも及んでおり，住民の孤立は最大で津久見市が1,000人，佐伯市で600人を超える状況であった。

表2には，平成29年台風第18号による災害に係る被害状況（平成29年10月18日17時00分現在，単位：百万円）を示した（大分県防災危機管理課，2017）。大分県全体の被害総額は217億円で，内訳は津久見市65億円，佐伯市40億円，豊後大野市35億円，臼杵市30億円の順となっている。被害種別を見ると，商工労働関係は市街地が浸水した津久見市が13億円で大きく，農林水産関係の被害は豊後大野市20億円，津久見市11億円，佐伯市8億円で，豊後大野市は農業被害，津久見市は農業被害と水産被害，佐伯市は林業被害の比率が大きく，地場産業の特性により被害も異なっていることがわかる。土木建築被害は，5市を中心に県全域に及び，橋梁を含む道路被害は津久見市20億円，佐伯市と豊後大野市が7億円など計43億円，河川被害は津久見市，臼杵市，佐伯市の3市がいずれも10億円を超え，県全体で57億円で達している。これ以外に砂防被害が15億円で，土木建築被害は県全体で122億円にも上っている。教育被害は津久見市内の津久見高等学校や第一中学校での浸水被害等により津久見市で3.8億円，県全体で5億円となっている。

佐伯市では，一級河川の番匠川上流の豪雨により下流の番匠橋（最高水位7.06m（16:20）+1.26m），支流の久留須川の間庭橋（最高水位6.18m（15:40）+0.68m），井崎川の蕨野橋（最高水位6.56m（15:40）+0.96m）の水位観測所で氾濫危険水位を超過（「+」は氾濫危険水位からの差分）して，既往の水位記録をも更新した。これにより，番匠川へ中小河川の河川水が流入できずに氾濫を起こす被害が弥生地区（井崎川），檜野地区（檜野川），波寄地区（宇津々川），さらには水田を再開発して大型商業

施設が立地する鶴岡西町地区（門前川）で発生した。
また、豊後水道に面する八幡地区のJR日豊本線と国道217号線に囲まれた海崎駅前付近でも、河川の氾濫により100cm前後の浸水被害が発生するなど、市内各所で浸水被害が生じた。

これ以外に、大野川の白滝橋水位観測所でも氾濫危険水位を1.46mも超える10.06mを記録し、昭和36（1961）年10月に観測された水位9.3mを超える記録的な出水であった（九州地方整備局，2017）。

表 1 平成 29 年台風第 18 号による災害に係る被害状況
（大分県防災危機管理課，平成 29 年 10 月 18 日 17 時現在）

被害種別	大分市	佐伯市	臼杵市	津久見市	豊後大野市	その他 ^{注1}	県計
人的被害（人）							
死者					1		1
軽傷者	3		2				5
住家被害（棟）							
全壊		1	1	1			3
半壊	7	6	2	522	3		540
一部損壊	21	1	6		6	3	37
床上浸水	50	314	111	361	37		873
床下浸水	182	517	524	646	32	5	1,906
合計	260	839	644	1,530	78	8	3,359
非住家被害（棟）	35	154	30	305	50	4	578
住民の孤立（最大）							
地区数		13		10	2		25
世帯数		340		630	52		1,022
人数		617		1,063	99		1,779

注 1）その他市町村は、別府市、中津市、日田市、竹田市、豊後高田市、杵築市、宇佐市、由布市、国東市、姫島村、日出町、九重町、玖珠町

表 2 平成 29 年台風第 18 号による災害に係る被害状況
（大分県防災危機管理課，平成 29 年 10 月 18 日 17 時現在，単位：百万円）

被害種別	大分市	佐伯市	臼杵市	津久見市	豊後大野市	その他 ^{注1}	県計
福祉			7	7	39		53
商工労働	145	429	19	1,317	4		1,914
農林水産 農業							
農産物等	43	9	46	39	54	24	215
栽培施設	10	30	15	23	23	3	104
農地・農業用施設	342	153	365	701	1,830	1,849	5,240
その他農業施設							0
計	395	192	426	763	1,907	1,876	5,559
林業							
林地崩壊		183	5	61		1	250
治山施設							0
林道	168	317	75	120	95	36	811
その他林業施設	6	95	13	3	34		151
計	174	595	93	184	129	37	1,212
漁業							
水産関係	9	16	2	118			145
漁港関係		27	3	19		25	74
計	9	43	5	137	0	25	219
小計	578	830	524	1,084	2,036	1,938	6,990
土木建築							
道路（橋梁含む）							0
国道（国管理）							
県道（県管理）	86	118	34	1,232	159	54	1,683
市町村道	23	626	364	719	559	304	2,595
計	109	744	398	1,951	718	358	4,278
河川							0
国管理							
県管理	732	955	1,208	649	523	480	4,547
市町村管理	13	119	232	489	128	143	1,124
計	745	1,074	1,440	1,138	651	623	5,671
海岸							0
港湾	16	3	10	6		4	39
砂防施設	119	773	242	284	66	28	1,512
都市・公園							0
上・下水道	1	90	301	260	1		653
公営住宅	7			7			14
小計	997	2,684	2,391	3,646	1,436	1,013	12,167
教育							
公立学校							
県立学校		1		268		1	270
市町村立学校	2	1	31	46		1	81
計	2	2	31	314	0	2	351
私立学校			1	10			11
その他学校施設				23			23
社会教育施設	1	51	16	33			101
文化財			10			2	12
小計	3	54	57	380	0	4	498
その他			31			5	36
合計	1,723	4,035	2,998	6,466	3,481	2,955	21,658

注 1）その他市町村は、別府市、中津市、日田市、竹田市、豊後高田市、杵築市、宇佐市、由布市、国東市、姫島村、日出町、九重町、玖珠町

4. 津久見市の市街地における土地利用の変遷

津久見市の市街地で発生した洪水災害の特徴を紹介する前に、地形図（旧版地図）と空中写真を用いて土地利用の変遷について記す。図7には、1927年から2008年までの旧版地図と空中写真（1965年のみ）による津久見市における市街地の変遷を示した。津久見は1921年に津組村が町制施行して津久見町となっている。1927年の旧版地図では海岸沿いに漁村（写真2で後述する岩屋地区）が形成されており、日豊本線が1916年に臼杵駅と佐伯駅間が延伸開業して市街地からやや内陸に入った場所に津久見駅が開設されているが、駅前（北口）の西側は未開発であることがわかる。また、駅裏（現在の南口）も水田が広がり、町役場は西側の山裾の街道沿いに置かれている（地図記号で「○」）。なお、1933年には青江町等を新設合併して津久見町（新町制）となっている。

28年後の1955年も市街地は広がっておらず、1951年に周辺の3つの村を合併して市制施行して津久見市になったことから、地図記号が「◎」に変更されている。1965年の空中写真では、海岸の埋め立てが徐々に進んで市街地が沖合に拡大し、駅裏の水田も宅地開発が進められ、市役所も駅裏の西側に移転しており、津久見高等学校や第一中学校も建設され、市街地は大きな変容を遂げていることがわかる。1973年の旧版地図では、海岸部に国道317号線が開通し、埋め立て工事もさらに進んでおり、現在の市街地がほぼ形成されている。1988年では15年前の1973年とほぼ同様な状況であるが、2008年では海岸部分がさらに埋め立て工事により拡充され、国道より海側のエリアには大型商業施設、ホテル、公共施設（市民ふれあい交流センター、社会福祉協議会、市役所出張所、交番）、漁協、飲食店等が建設されている。

1927年の旧版地図の北西に位置する青江村に、「警固屋」と地名が記載されている。警固屋地区は港町で、1917年に桜セメントが津久見で最初のセメント生産を開始し、続いて太平洋セメントと大分セメントが設立され、その後、現在の太平洋セメントの前身である小野田セメントが1938年に進出し、すべてのセメント工場と合併しており、青江町（1928年に町制施行）はセメント工場の街として発展を遂げる。1973年の旧版地図には「セメント町」の地名が確認でき、現在でも津久見市は国内屈指の良質な石灰石産地として知られ、日本有数の採掘量（年間約2,400万トン）を誇り、さらに約45億トンの石灰石の埋蔵が確認されている。

このように、津久見市の市街地は1954年から始まる高度経済成長期により開発が進み、現在の市街地が形成されていった。

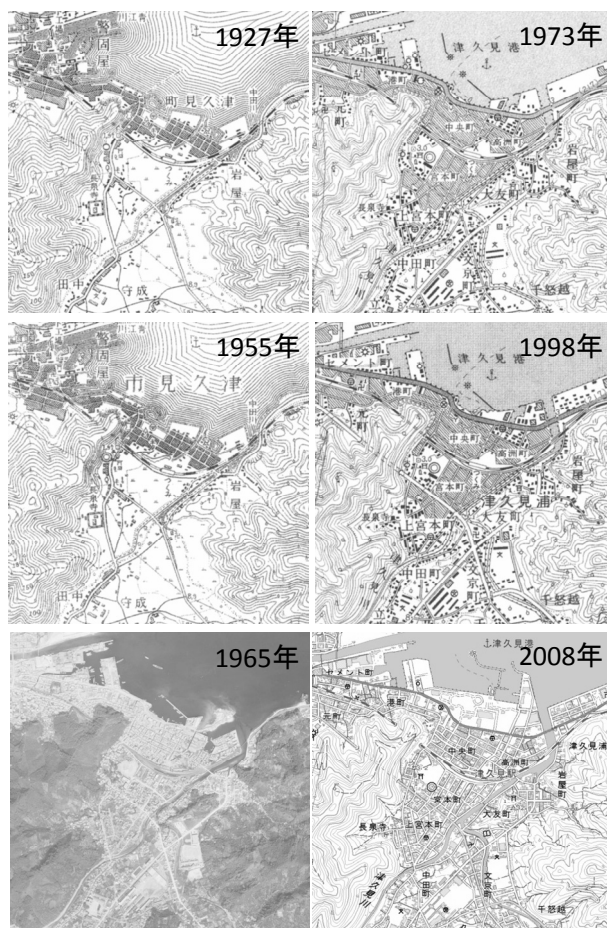


図7 1927年から2008年までの旧版地図と空中写真（1965年のみ）による津久見市における市街地の変遷

5. 津久見市の市街地における洪水災害の特徴

ここでは、津久見川と支流の彦の内川の氾濫により市役所やJR津久見駅の一帯が浸水した津久見市の中心部を対象に、洪水災害の特徴を紹介する。なお、津久見市内の徳浦地区等の被害についてはここでは省略する。

図8には、津久見市の市街地における洪水ハザードマップ（左）およびDEM（標高地図）・浸水深図（右）を示した。DEM（標高地図）・浸水深図では、国道217号線より南側の旧市街地は標高が低く、特に青色で示された津久見川左岸や駅前通りから北西に位置する一帯はさらに低い標高となっている。なお、これらの地区一帯では100cmを超える浸水深（地盤から浸水痕跡までの高さ）となっている。

写真1には、店舗における浸水被害の状況を示した（2017年9月28日撮影、高洲町）。津久見川下流の左岸に位置する高洲町は市街地で最も標高が低い地区で、古くは漁村（岩屋地区）で店舗が立ち並ぶこの一帯は浸水深が120cm前後と大きな被害を受けている。JR日豊本線と国道217号線に挟まれた地域は、

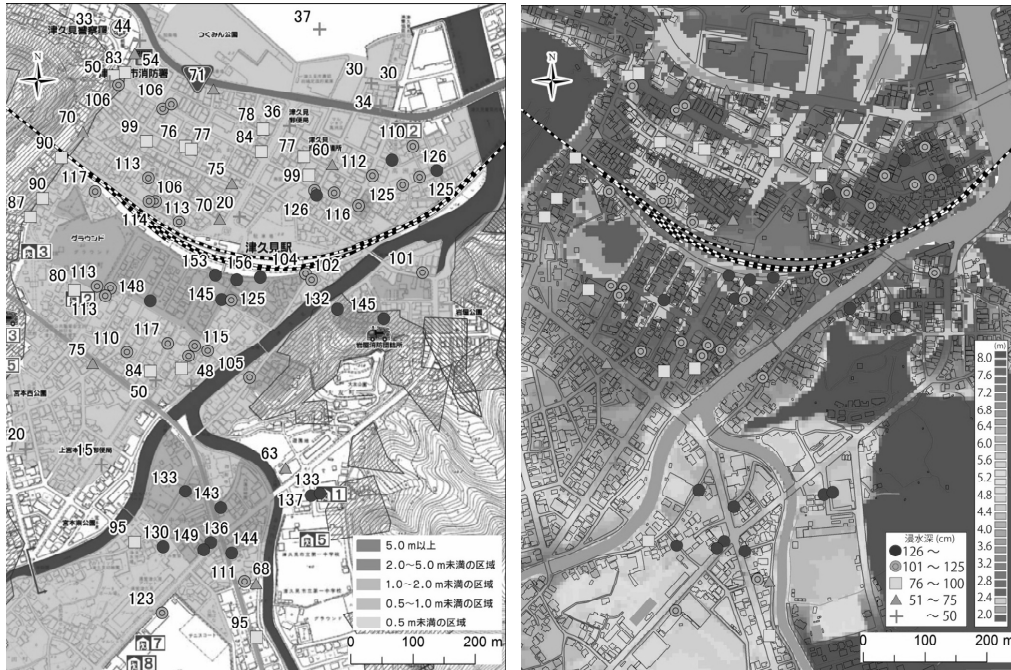


図8 津久見市の市街地における洪水ハザードマップ（左）およびDEM（標高地図）・浸水深図（右）
（図中の数字は写真1～12の位置）

洪水ハザードマップによる浸水想定は0.5m未満であったが、本洪水では津久見駅前（北側）を除いて100cm以上浸水する被害が発生している。また、国道217号線より海側の新しい埋立地は標高が高いため、浸水も30cm前後に止まっている。

写真2は、高洲町内に建立されている「岩屋埋立記念碑」を示す（2017年9月28日撮影，高洲町）。記念碑には、岩屋は明治時代には半農半漁を業とする約100戸余の小部落であったが明治36（1909）年，大正8（1919）年・同12年（1923），昭和8（1933）年・同41（1966）年と埋立事業が進められ，岩屋港を含む本地区に広大な埋立地が完成したと記されている。図7の1927年の旧版地図では，この記念碑が建立されている道路が従来の海岸（図8（左）の洪水ハザードマップにおいて点線で記載）で，海側に船溜まり，東西に埋立地が確認できる。このように，本地区一帯は海域を埋め立てて造成されており，今回の洪水災害はもともと高潮や津波による浸水リスクが高い地区であることがわかる。

写真3には，市街地にある銀行の駐車場における浸水の痕跡を示す（2017年9月28日撮影，中央町）。この付近も100cm前後の浸水被害に見舞われており，駐車場でも106cmの浸水痕跡が確認できる。写真4は，JR津久見駅南口の線路沿いのフェンスにおける塵芥の状況を示す（2017年9月28日撮影，宮本町）。南口駅前の道路に大量の泥流が流れ，153cmの高さにまで塵芥の痕跡が確認できる。道路を挟んだ南側に立地するタクシー会社では，浸水対策として地盤を高く



写真1 店舗における浸水被害（高洲町）



写真2 岩屋埋立記念碑（高洲町）

していたにも関わらず、駐車していたタクシーが運転席の高さまで冠水し、この付近では地盤から約150cm前後の浸水深となっている。



写真3 銀行の駐車場における浸水の痕跡（中央町）



写真4 JR津久見駅南口のフェンスにおける塵芥の状況（宮本町）

写真5は、津久見川の跨河川橋で捕捉された流木と塵芥の状況を示す（2017年9月28日撮影、宮本町）。欄干の部分に流木や塵芥が挟まれており、この高さにまで水位が上昇したことがわかる。橋梁の中央部に水位計が設置されており、図6（上）に示した下岩屋橋の水位がここで観測された水位に相当する。写真6は、JR津久見駅の南側に位置する店舗における浸水の痕跡を示している（2017年9月28日撮影、宮本町）。この一帯は、図7で示したように1955年の時期までは水田が広がっていた地区であり、100cmを超える浸水被害が生じている。

写真7は、津久見市役所の玄関前に設置された掲示板における浸水の痕跡を示しており、庁舎前のグラウンドに駐車していた公用車も水没する被害が発生している（2017年9月28日撮影、宮本町）。この一帯は標高が約2mと周辺より低いこともあり、0.5～1.0mの浸水想定となっているが、実際には100cmを超える浸水被害となっている。



写真5 津久見川の跨河川橋で捕捉された流木と塵芥（宮本町）



写真6 店舗における浸水の痕跡（宮本町）



写真7 津久見市役所の玄関前に設置された掲示板における浸水の痕跡（宮本町）

写真8に示した庁舎前のグラウンドは、濁流が流れ込んで約50cmの土砂の堆積が確認できる。写真9には日豊線沿いの商店における浸水の痕跡を示しており、山際の旧街道沿いのやや標高が高い位置にあるため、90cmの浸水に止まっており、微地形により浸水深が異なっていることがわかる（2017年9月28日撮影、宮本町）。

写真10は、津久見川とその支流の彦の内川に挟まれた中田町の店舗における浸水の痕跡を示す（2017年9月28日撮影，中田町）。この地域は両河川からの氾濫が予想され、標高も中央部でやや低いことから、0.5～1.0mの浸水想定がなされていた。しかし、実際の浸水深は130～140cmで、河川の中流域にも関わらず甚大な浸水被害が生じていることがわかる。写真11は、津久見高等学校の体育館における浸水の痕跡を示している。やや低い地盤に建てられていることから、地盤から123cmの浸水深となっており、近接する水路から流れ込んだ濁流により体育館や校舎2棟が床下浸水の被害が発生している（2017年9月28日撮影，大字津久見）。写真12は、彦の内川の右岸に位置する第一中学校体育館における浸水の痕跡を示している（2017年9月28日撮影，文京町）。洪水ハザードマップでは彦の内川の右岸では浸水が想定されていなかったにも関わらず、氾濫により130cm前後の浸水被害が発生していることがわかる。また、体育館に隣接する学校給食共同調理場でも浸水被害が発生している。さらに、標高のやや高い位置に立地している津久見市民図書館でも床上浸水の被害に見舞われ、郷土資料の一部で浸水被害が発生している。



写真 10 店舗における浸水の痕跡（中田町）



写真 11 津久見高等学校の体育館における浸水の痕跡（大字津久見）



写真 8 津久見市役所前の土砂堆積（宮本町）



写真 12 第一中学校体育館における浸水の痕跡（文京町）



写真 9 日豊線沿いの商店における浸水の痕跡（宮本町）

以上のように、現地の浸水被害の調査から、洪水ハザードマップに示された浸水想定である0.5m未満、0.5～1.0mを大きく上回る浸水深と、浸水が想定されていなかった地区での浸水被害が確認された。

6. おわりに

今回の洪水災害が発生した大分県中南部地域では、南海トラフの巨大地震では震度6強が想定され、防災対策では津波に対する対策、避難想定が最も重要な課題とされるようになり、地域住民の水害に対する防災意識が相対的に低下している。これは、著者の今回のヒアリング調査でも明らかになっている。しかし、前年（2016年）9月の台風16号の通過時には、番匠川の蕨野橋と堅田橋の水位観測所で既往の記録を超える水位を観測しており、本年の台風18号と合わせて2年連続で祖母山系では台風により豪雨が観測され、両豪雨とも約12時間の比較的短時間に生じた降水イベントであった（山本ほか、2016）。九州山地の南東斜面に位置する大分県中南部から宮崎県南部にかけては、過去にも多くの豪雨災害が発生していることから、豪雨災害に対する防災対策や避難対応も改めて検討することが重要であると言える。

本豪雨は、大分県中南部から宮崎県北部にかけて発生しており、昨年の台風16号で洪水災害が発生した北川水系では、今年度も本豪雨により被害が生じており、被害の状況等については別の機会に報告を行う予定である。なお、本稿は日本自然災害学会の和文誌『自然災害科学』Vol.36,No.4に掲載された「2017年台風18号により大分県中南部で発生した豪雨と洪水災害の特徴」の一部を簡略化して紹介したものである。

謝 辞

本調査研究では、気象庁、国土交通省、大分県土木建築部、宮崎県県土整備部で観測された降水量と河川水位のデータを使用させて頂いた。また、気象庁の地上天気図、高知大学気象情報頁のひまわり画像、国土地理院の地理院地図等を使用させて頂いた。さらに、現地調査では関係者の方々のご協力を頂いた。ここに厚く感謝の意を表します。なお、本調査研究は自然災害研究協議会の平成29年度突発災害調査により実施されたものである。助成を頂いた自然

災害研究協議会に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 福岡管区気象台：災害時気象資料－平成29年台風第18号による9月16日から17日にかけての九州・山口県の気象状況について－，19p.（2017）
- 2) 気象庁：台風第18号及び前線による大雨・暴風等，48p.（2017）
- 3) 気象庁：過去の天気図（1日表示）
<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/wxchart/quickdaily.html?show=20170917>
- 4) 高知大学気象情報頁：
<http://weather.is.kochi-u.ac.jp/sat/gms.fareast/>
- 5) 国土交通省九州地方整備局：台風第18号に伴う出水について（第1報）国管理河川（番匠川水系，大野川水系，大分川水系），24p.（2017）
- 6) 宮崎地方気象台：災害時気象速報－平成29年台風第18号による9月15日から17日にかけての宮崎県の気象状況について－，29p.（2017）
- 7) 大分地方気象台：災害時気象速報－平成29年台風第18号による9月16日から17日にかけての大分県の気象状況について－，30p.（2017）
- 8) 大分県災害警戒本部：平成29年台風第18号に関する災害情報について（第35報，平成29年10月11日15時現在）
- 9) 大分県防災危機管理課：平成29年台風第18号による災害に係る被害状況（平成29年10月18日17時現在）
- 10) 消防庁応急対策室：平成29年台風第18号による被害及び消防機関等の対応状況等について（第12報，平成29年9月27日17時現在）
- 11) 山本晴彦・山崎俊成・坂本京子・野村和輝：2016年台風16号の気象的特徴と宮崎県の北川で発生した洪水災害の概要，自然災害科学，35（3），pp.175-189（2016）

北陸地方を中心とした広域雪氷災害に関する調査研究

河島克久*・松元高峰*・本田明治**・上石 勲***・小杉健二***・山口 悟***
平島寛行***・山下克也***・安達 聖***・伊豫部勉****・高橋 徹*****・本谷 研*****
藤本明宏*****・宮島昌克*****・池本敏和*****

* 新潟大学災害・復興科学研究所

** 新潟大学理学部

*** 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター

**** 京都大学大学院工学研究科

***** 千葉大学大学院工学研究院

***** 秋田大学教育文化学部

***** 福井大学大学院工学研究科

***** 金沢大学理工研究域

要 旨

2017/18年冬期の北陸地方を中心とした広域かつ多様な雪氷災害に対して、被害の実態と発生過程を明らかにするため、7機関15名の研究者から成る研究グループを構成して調査を行った。その結果、顕著な偏西風の蛇行で分裂した極渦の一つが極東の上空で冬季の間ほぼ留まっていたため低温大雪が持続されたことや、新潟県から福井県にかけての海岸平野部の積雪量の多さに特徴があったことが分かった。また、国道8号線における長時間立ち往生（車両滞留）の発生過程、新潟県佐渡島や石川県能登地方で多発した水道管凍結被害の実態と原因、老朽化した建築物の倒壊をもたらした雪荷重、冠雪害の状況と発生時の気象条件、大規模な雪崩や雪泥流による被害とその発生過程等が明らかになった。

キーワード：日本海寒帯気団収束帯、車両滞留、水道管凍結、屋根雪荷重、冠雪害、雪崩災害、雪泥流

1. はじめに

2017/18年冬期は、1～2月を中心に北日本から西日本にかけての日本海側を中心に断続的に大雪が降り、広い範囲で記録的大雪となった。中でも福井市では、1981年の豪雪（56年豪雪、196 cm）以来37年ぶりに積雪が140 cmを超えた。この大雪により、多数の人的被害に加えて、幹線道路や鉄道の長時間立ち往生（車両滞留）、建物やビニールハウス等の倒壊、ライフライン（生活道路、鉄道、水道）の障害等が各地で発生しており、広域的かつ多方面に大きな影響を及ぼした。

この広域かつ多様な雪氷災害に対して、被害の実態と発生過程を明らかにし、今後の防減災対策に資するため、7機関15名の研究者から成る研究グループを構成して調査を行った。調査内容は、①雪氷災害

の全容の把握と積雪調査（北陸班、新潟班、東北班、西日本班）、②個別災害調査（交通障害班、建築構造物被害班、生活関連雪害班、雪泥流調査班）、③気象調査（気象班）であり、主に班ごとに活動を行った。2018年5月19日には、各班の調査結果を持ち寄り、「2017-18年冬期の北陸地方を中心とした広域雪氷災害の調査報告会」を新潟市で開催した。本稿では、①～③の調査結果の概要を以下に述べる。

2. 大雪をもたらした大気場の特徴

2017/18年冬季は全国的に寒冬で、本州日本海側を中心に降雪量が多く最深積雪も平年を上回る地点が多かった。全国的に寒冬となったのは南西諸島を除くと、最近では2005/06年（平成18年豪雪；本田・楠，2007）、2011/12年冬季、2012/13年冬季で、5冬振り

の寒い冬であった。今冬の寒気は西回りで到来することが多く、西日本では1985/86年冬季以来32年振りの寒さだった。

この冬の降雪の特徴としては北陸～新潟地域の海岸平野部にしばしば降雪が集中したことで、福井147 cm、金沢87 cm、新潟80 cmなど各県庁所在地でも記録的な大雪となった。また海岸平野部の多くの地点で1月中旬～2月末まで積雪が継続していたのも今冬の特徴と言える。このような低温大雪の傾向が持続した要因としては、北半球の大気循環場において偏西風の蛇行が顕著で、通常北極上空に位置する極渦（極域上空に蓄積された寒気を伴う低圧部）が分裂し、その一つが極東方面に南下して留まる状態が冬季の間ほぼ継続していたことが挙げられる。

冬季（12月～2月）平均の大気循環場（250 hPa面高度）の特徴をみると（図-1）、偏西風の蛇行が全般に強く、極東とカナダ北部には低気圧性（負）偏差を伴う独立した渦がみられ（図中の青丸）、これらは分裂した極渦に対応すると考えられる。極東の高度の負偏差は上空のトラフが大陸側に位置するいわゆる西谷型で、平年より寒気の南下が強く西回りで入りやすかったと言える。ユーラシア大陸上では、亜寒帯ジェットに沿う東欧（負）～ユーラシア北部（正）～極東（負）に中心を持つ定常性波動の（正の）ユーラシアパターン（Wallace and Gutzler, 1981）が明瞭で、日本付近はジェットが南に蛇行して寒気の南下を助長しやすい循環場であった。図中の矢印で示される波の活動度フラックスは波列に沿って極東に伝播しており、定常ロスビー波と解釈される。亜寒帯ジェットの蛇行の強化にはバレンツ・カラ海の水氷が平年と比べてかなりなかったことも影響している可能性がある（Honda et al., 2009）。またユーラシア大陸の南側では、亜熱帯ジェットに沿う中東（正）～アラビア海（負）～チベット（正）～極東（負）の波列もみられ、亜熱帯ジェットの蛇行にはラニーニャによる影響も示唆されている（気象庁, 2018）。このように亜寒帯・亜熱帯の両ジェットが日本付近で南に蛇行しやすい状態は、極渦の分裂により極東に南下した寒気を、冬季を通じて日本付近に引き込みやすくしていたと考えられる。

日本の気象経過をみると、12月～2月の気温の傾向は、全国的に高温となった1月中旬（北日本では12月下旬～1月中旬）を除くとほぼ低温傾向で、12月前半、1月10日前後、1月下旬、2月上旬に特に強い寒気のピークがあった。今冬はユーラシア大陸上の寒気の蓄積が早く、12月に入ると亜熱帯ジェットに沿う波列が明瞭になり、前半を中心に寒波が入り各地で積雪となった。1月上旬後半の亜寒帯ジェットに沿う波列の強化により強い冬型の気圧配置となり、11日

～12日は北陸より北の日本海側の平野部でも積雪となった。また発達した日本海寒帯気団収束帯（JPCZ）が新潟地域にかかり、新潟では8年振りに積雪深が80 cmに達した。下旬になると亜寒帯ジェットに沿う波列が再び明瞭になり、今冬最強の寒気のピークとなった24日～27日にかけては山陰地方～北海道の各地で積雪が増加し、山間部では積雪が2～3 mに達する地点も出てきた。2月に入ると亜熱帯ジェット続いて亜寒帯ジェットに沿う波列が明瞭となり、日本付近は再び強い寒気が入り、5日～7日にかけてJPCZが発達し北陸～新潟県の平野部で大雪となった。特に福井では7日の積雪深が147 cmとなり37年振りに140 cmを超えた。

2017/18年冬季の低温大雪の持続は、顕著な偏西風の蛇行で分裂した極渦の一つが極東の上空で冬季の間ほぼ留まっていたことに起因する。また亜寒帯・亜熱帯の両ジェットに沿う波列がしばしば強化され、日本付近で南に蛇行することで、極東上空の寒気を日本付近に南下させやすい状況をつくっていた。また西回りで寒気が入りやすくしばしばJPCZが発達したため本州日本海側の海岸平野部を中心に各地で記録的大雪となったと主な要因と考えられる。

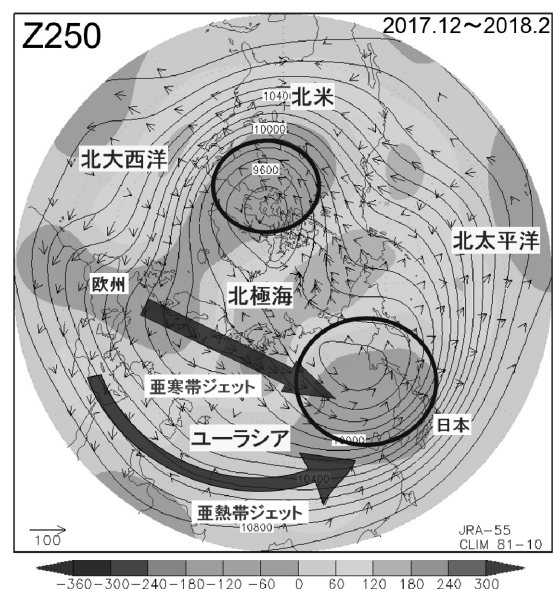


図-1 2017年12月～2018年2月平均の、250 hPa面高度（m: 黒実線）及び平年からの偏差（m: カラー）、定常ロスビー波の活動フラックス（ m^2s^{-2} : 矢印）

3. 大雪時の降積雪分布の特徴

3.1 はじめに

2018年1～2月の集中的な降雪は北陸地方の海岸平野部に大きな被害をもたらした。ここでは、2018年1月から2月にかけての北陸地方における降積雪量の詳

細な空間分布の実態を明らかにすることを目的として、特に短期間での集中的な降雪がもたらされた海岸平野部での里雪事例に着目して解析を行った。

3.2 2017-2018年冬期の最深積雪の特徴

気象庁の観測データによると、2017/18年冬期の北陸地方における最深積雪は、ほとんどの地点で平年を上回り、今回大雪となった新潟・金沢・福井では平年比2.0～2.5倍にもなった(新潟地方気象台, 2018)。一方、年最深積雪の最大値を更新した地点は、福井県内のAMeDAS武生(130 cm)、AMeDAS九頭竜(301 cm)の2地点(いずれも2月13日に更新)であった。図-2に北陸地方における2017-2018年冬期の最深積雪の分布を示す。作図には伊豫部ら(2013)が開発・運用する準リアルタイム積雪分布監視システムで集約された多機関(気象庁、国土交通省、自治体など)の積雪深データを用いた。これに見るように、今回の大雪では新潟県から福井県にかけて海岸平野部一帯で60 cm以上の積雪が広範囲に分布しているが、なかでも福井市とその周辺部では120 cm以上となっており、2017-2018年冬期は海岸平野部の積雪量の多さに特徴があったと言える。

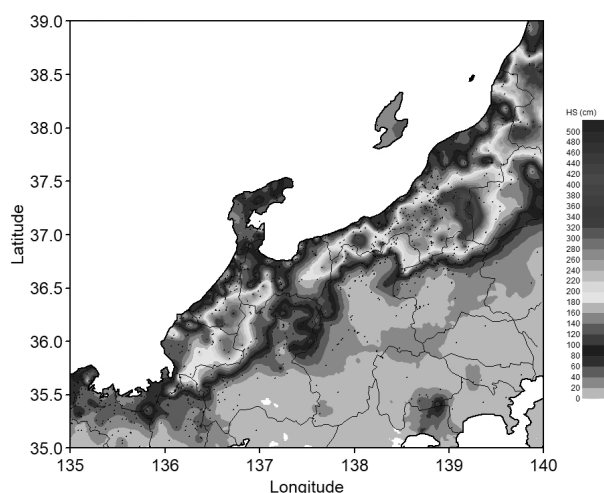


図-2 北陸地方における2017-2018年冬期の最深積雪分布図

3.3 1月中旬と2月上旬の大雪時の降雪分布の特徴

北陸地方の海岸沿岸部での大雪は、1月11日～12日、2月5～7日の期間にもたらされた。図-3にはそれぞれの大雪期間における累積降雪量の分布図を示した。なお、累積降雪量は、毎正時の積雪深について前時刻との積雪深差の正值を1時間降雪深とみなし、その値を積算することで求めた。

1月11日～12日の期間、北陸地方の上空には -36°C

以下の強い寒気が南下した。日本付近は冬型の気圧配置となり、日本海では等圧線の間隔が広がっているなど、里雪型の大雪の典型的な特徴が見られた。このような条件の下、雪雲が次々と海岸部に上陸した。2日間降雪量が80 cm以上の地域に着目すると、能登半島北部や新潟県糸魚川周辺のほか、新潟市から福島県境部にかけて阿賀野川沿いに見られ、強い降雪域は一様ではなく局所的な分布パターンを示した。一方、図-3(b)に示す2月5日から7日にかけての大雪では、帯状の降雪域が福井県北部から富山県西部にかけてと、中越地方の沿岸部から山間部にかけて広い範囲で見られた。分布パターンは、1月中旬に比べて、降雪域の幅が広く、両白山地の北～西側において100 cmを超える値が見られた。両白山地の風上に当たる石川県加賀市から福井県坂井市にかけて国道8号線では、約1,400台に及ぶ大規模な車両の立ち往生が発生し、山地での降雪強化が交通障害の被害拡大に大きく寄与したと考えられる。

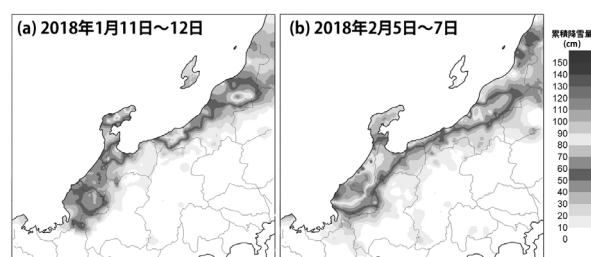


図-3 累積降雪量の分布図((a):1月11日～12日,(b):2月5日～7日)

3.4 時間降雪量の分布

時間降雪量の変動特性を調べるため、1月11日から12日までの時間帯において各地点の6時間毎の累積降雪量の最大値を抽出し、その分布図を図-4に示した。時間分布図にも6時間で30 cmを超える降雪の集中域が局所的に現れており、しかも、その分布パターンは図-3(a)に示した累積降雪量とよく一致していることが分かる。図-5には1月11日から12日にかけての6時間降雪量の分布の時間変化を示す。降雪の集中域は、11日午前は新潟県中越地方にあったが、11日午後には次第に新潟市周辺に移動した。さらに、日付が変わる前後数時間は、降雪の中心が石川県から福井県へと移動する一方、上越地域の海岸付近でも局所的な強い降雪域が存在している。1月中旬の大雪では時間帯によって強い降雪域の位置が大きく変化し、雪雲が局所的に発達すると8～10時間ほとんど位置を変えていないことが特徴的であった。

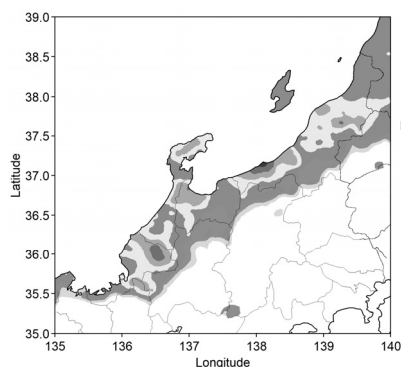


図-4 6時間降雪量の期間最大値の分布図（期間:2018年1月11日～12日）

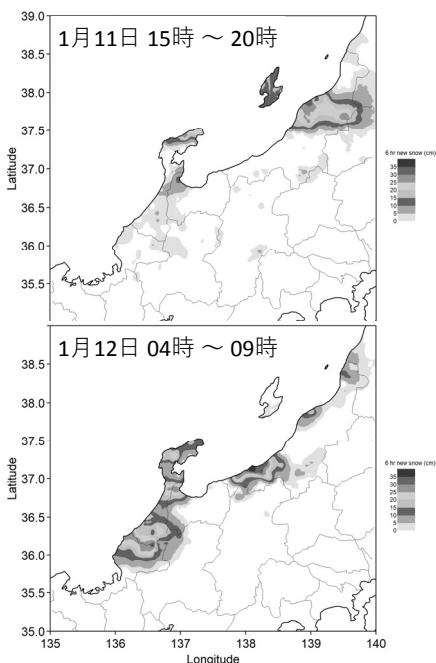


図-5 6時間降雪量の分布図

4. 人的被害の特徴

消防庁の発表（2018年4月13日）によると、雪による人的被害は死者116人、重症624人、軽症915人に上った。2010/11年冬期以降の8冬季の中で死者数は3番目に多く、死者数が100人を超えたのは2012/13年冬期以来5年ぶりである。死者数を都道府県別に見ると、北海道、新潟県、山形県、福井県で特に多く（図-6）、人的被害が多い地域が北海道から北陸地方までの広範囲に及んでいることが分かる。また、図-7に示した死者数の原因別内訳から、屋根の雪下ろし等、除雪作業中の死者が圧倒的に多く、全体の約88%を占めていることが特徴的である。この割合は、近年の豪雪年に比べても極めて大きいと言える。さらに、高齢者（65歳以上）の死者は93人（約80%）に達しており、高齢者の割合も2017/18冬季は著しく大きい。



図-6 都道府県別の雪による死者数

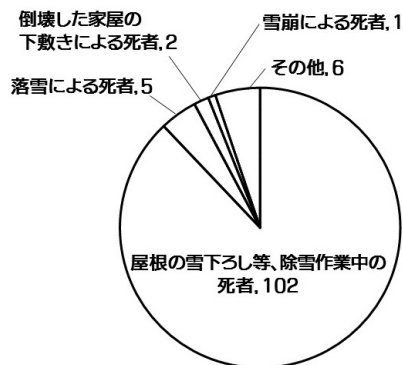


図-7 原因別の雪による死者数

5. 交通・生活関連・建物被害

5.1 国道8号線の大規模な車両滞留

(1) 概要

2018年2月4日から7日かけて福井県嶺北地方は大雪に見舞われ、福井市では昭和56豪雪以来37年ぶりに最深積雪が140cmを超えた（図-8）。この大雪により、福井県坂井市から石川県加賀市に亘る国道8号線では、スタック車両が多発し、大規模な車両滞留が生じた。その延長は最大で約20kmであり、滞留車両台数は最大で約1500台に及んだ（写真-1）。車両滞留による通行止めは2月6日11時から2月9日5時までの66時間であった。

以下では、気象条件や道路管理者の対応を含めて、スタック車両と大規模な車両滞留の発生状況および車両滞留が長時間化した要因について述べる。

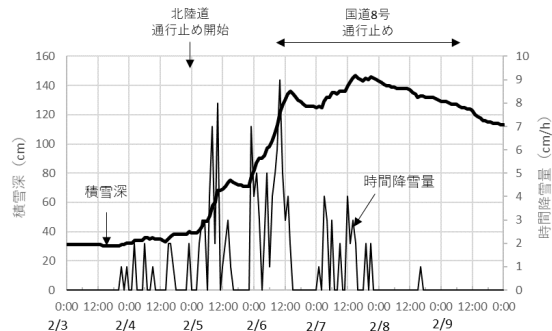


図-8 積雪深と時間降雪量（福井市）



写真-1 車両滞留の状況（引用：国道8号冬期道路交通確保対策会議（第1回）配布資料）

（2）車両滞留の発生状況

最初の車両滞留は、5 cm/h 以上の降雪が断続的に続いた 2 月 6 日 0 時から 2 時の間に発生した。0 時に 3 台、1 時に 1 台、2 時に 1 台がそれぞれスタックしたが、牽引によって排除され、一時的な車両滞留に留まった。その後、4 時にもスタック車両が発生したものの、チェーン装着によって自力で脱出している。降雪が強まった 6 時から 2 台のスタック、大型車のすれ違い接触事故、路上でのチェーン装着作業が発生し、再び車両が停留した。この時、強く連続的な降雪が伴い、発進不能車両の後続車両も全て雪に埋もれて動けなくなり、車両滞留が常態化した。

（3）車両滞留の発生と長時間化の要因

車両滞留の発生と長時間化の主な要因について以下に記述する。

（a）平年値の約 7 倍の降雪量と通勤時間と重なった集中降雪

福井市における 2 月上旬の最深積雪の平年値は 32 cm（気象庁の過去データ）であり、今回の大雪ではその 4 倍以上の降雪があった。2 月 5 日 16 時から 24 時間降雪量は 67 cm に達し、通勤時間にあたる 2 月 6 日 7 時から 10 時の 4 時間には累計 24 cm もの降雪があり、最大時間降雪量は 9 cm/h であった。

（b）降雪量と予測情報の相違

前日に発表された 2 月 6 日の気象予報では、福井市の南部に位置する越前市と敦賀市の間で大雪が予想されており、福井河川国道事務所は雪害対策要員をこの区間に充当していた。しかしながら、2 月 6 日早朝にかけてのこの区間の降雪量は僅か 2 cm であった。雪害対策要員は、急遽、大雪に見舞われた福井市の北部方面に移動したが、渋滞の中、約 70 km 離れた現地に到着するまでに時間を要した。これによって、車両滞留が発生した 8 時半と国道 8 号線の通行止め開始の 11 時までには時間差が生じた。

（c）北陸道通行止めによる交通量増加

北陸道（武生 IC から小矢部 IC）は 2 月 5 日 23 時 40 分に通行止めの処置が取られ滞留。結果的に国道 8 号線の交通量は 2 倍近くに増えた。

（d）路肩の狭い 2 車線道路と急な縦断勾配道路

福井県と石川県の県境において、国道 8 号線は 2

車線区間があり、ここで多くのスタック車両が発生した。この区間は路肩が狭く、特に路肩堆雪時には十分な走行幅が確保できていない。また、除雪車の回転場も少なく、豪雪時に迅速な除雪対応が難しい。今回だけでなく過去の車両滞留の事象も含めて、道路縦断勾配が 5% 以上でスタック車両が多く発生しているが、当該区間の道路縦断勾配は 5% 以上が多く、最大で 8% である。

（e）チェーン未装着の大型車両

過去の車両滞留の発端となったスタック車両は殆どがチェーン未装着の大型車両である。トラック協会所属の事業者を対象にしたヒアリングの結果、97% がチェーン携行しているものの、チェーン装着箇所が十分に整備されていないや装着のタイミングが難しいなど、適切なチェーン装着は簡単でないことが示唆された。道路管理者の中でチェーン規制の検討が行われている中、適切かつ有効なチェーン装着について工学的見地から車両・タイヤ条件、道路条件および雪氷条件を考慮した検討が望まれる。

（f）情報の発信と伝達

大雪当時、国土交通省では、道路情報板、記者発表、ホームページ、twitter、Facebook によって道路情報をきめ細やかに発信していたが、国土交通省が実施したヒアリングでは、情報発信を知らない、テレビでの情報提供を充実してほしい、など改善点が見られた。今回の車両滞留では、メディアで大きく報道された後にも滞留が延伸した区間もあった。新たに車両が滞留に加わらないように、情報提供の内容や発信方法については更なる検討が必要である。

5.2 水道管凍結被害

2018 年 1 月 22 日以降に大雪と寒波に見舞われ、島根県や関東地域でも断水が発生した。新潟県佐渡島や石川県能登地方では寒波がひと段落した 1 月 27 日あたりから給水管からの漏水事故が相次ぎ、配水池の水量が急激に低下したことから一部で断水が発生した。そこで、佐渡市、輪島市への現地調査を行うとともに、被災原因について考察した。

図-9 に佐渡市両津における 1 月の最高気温と最低気温の推移を示す（気象庁）。最高気温は 4℃～10℃で推移していたが、1 月 23 日以降、低下し、1 月 25 日、26 日には氷点下まで下がり、27 日に氷点下から脱している。最低気温は 24 日～26 日は -4℃を連続して下回った。以上より、寒波の襲来により最低気温が -4℃を下回り、最高気温も氷点下の日が 2、3 日続いたことがわかる。

図-10 に輪島市における 1 月の最高気温と最低気温の推移を示す。輪島市も佐渡市両津と同様に 1 月 25、26 日の 2 日間にわたり最高気温が氷点下となっており、24 日～26 日には最低気温が -4℃を下回っている。これまで、最低気温が -4℃を下回ると水道

管凍結の恐れが出てくると言われていたが、今回は最低気温が -4°C を下回る日が2, 3日続くとともに、最高気温も氷点下であったので、さらに厳しい条件であったことが明らかとなった。

また、佐渡市両津における1月23日～27日の最大風速は 15 m/s 以上の最大風速が継続していた。輪島市では 8 m/s 以上の最大風速が1月中旬以降観測されている。両市における1月23日～27日の日照時間は1時間程度であった。最低気温が -4°C を下回ったことだけでなく、日照時間が短かったことも今回の凍結被害の要因の1つに考えることができる。強風に曝される管で漏水が多かったことから、最大風速が大きいという条件がさらに重なったことも、凍結件数の増加に寄与していると考えられる。

給水管の中の水が凍結すると体積が膨張するので、給水管が経年劣化していて体積膨張に追従できない場合には管が破損することになる。凍結中は漏水に至らないが、気温が上昇して凍結部分が融解すると破損した管から漏水することになる。図-9, 10によれば1月27日に最高気温が 0°C 以上となっているので、融解が始まり、漏水事故の報告が急増したものと考えられる。漏水事故が多発してもすぐに発見し水道管の元栓を閉めることによって水道システムへの影響はなくなるので、配水池の水位が低下するという事態には至らない。しかし、現地調査によれば、佐渡市、輪島市ともに空き家状態の家が非常に多く、普段は住んでいないが週末あるいは盆、正月には戻って来るので水道の元栓は閉めておらず、今回の寒波襲来時には住んでいないので漏水の発見が遅れ、配水池の水を浪費することになった。水道事業体で空き家の漏水確認を鋭意行ったが、積雪により元栓の場所を探すのに時間がかかった。

佐渡市では1月28日～2月3日までの7日間、輪島市では1月28日～2月7日までの11日間、一部の地域で断水が続いた。配水池からの配水を停止すると管内に空気が入ることになるので、配水を再開するときには空気弁から管内の空気を排出しながら配水池から順次、各家庭に水を送ることになる。輪島市の場合、起伏の大きい地域では管内の空気抜きに時間がかかり、断水の解消まで時間を要したということであった。佐渡市の場合は、管路網がネットワークにはなっておらず直線的であるので、配水池から順次通水していく作業に時間がかかったということであった。今回の事例を教訓にして断水解消に時間を要することのないように、空気弁の性能を向上させるとか空気弁の配置を工夫するなどの対策を講じることが望まれる。

雪国といわれる新潟県、石川県でも、海岸に面した佐渡市、輪島市はそれほど寒冷ではなく、東北地

方や北海道では当然行われている水道管の凍結防止対策がほとんど行われていないことも明らかとなった。

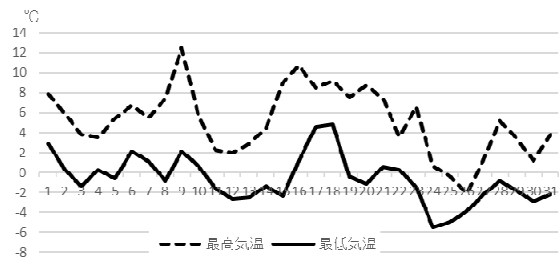


図-9 佐渡市両津における1月の最高気温、最低気温

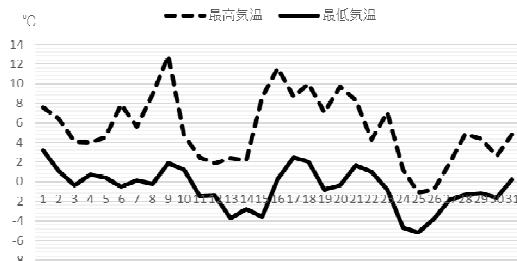


図-10 輪島市における1月の最高気温、最低気温

5.3 建築構造物被害

(1) 概要

近年の雪害では建築物の倒壊による被害は少なく、実際に倒壊棟数も過去の雪害に比べれば少ない（内閣府，2017）。しかし，2018年寒候期の大雪でも，依然として福井県や新潟県，山形県，秋田県でまとまった数の倒壊事例が報告されている（消防庁，2018）。1970年代の高度経済成長時に建設された木造住宅が老朽化し，さらに過疎化で空き家となり，倒壊に至るケースも多発している。

そこで，本報では，ケーススタディを通して，倒壊に至る過程を検証し，老朽化した建物の耐雪耐力を推定すると共に，雪荷重をリアルタイムで推定する方法について検討する。

(2) 倒壊のケーススタディ

本報では，新聞等で報道された福井県勝山市の事例（中日新聞Web，2018），を取り上げて考察する。現地調査を行い，周辺住民へのヒアリングなどから，倒壊に至る経過を推定した。

文献（中日新聞Web，2018）によれば，2月4日午前，近隣住民が大きな音を聞いて市役所に通報した。文献（中日新聞Web，2018）の報道写真の状況から推察するに，屋根雪処理などは行われていなかったと考えられる。現地で確認したところ，構造は木造トラス構造，一部の梁は鉄骨補強であった。（写真-2参照）管理もされていなかった上に老朽化が進ん

でいたものと推定される。このような老朽化した建築物の耐雪耐力を推定することは、今後日本で多発するであろう限界村落における建物倒壊の予測を行う上で貴重な資料と言える。



写真-2 勝山市の空き工場の倒壊状況（3月9日調査）

(3) 雪荷重の推定

筆者はこれまでに、積雪層モデルを用いて降水量と気温から地上積雪重量を推定する手法を開発しており（Takahashi et al., 2001）、本報では設楽ほか（2002）で得られた成果を用いて、地上積雪深のデータから積雪重量の推定を試みた。

文献（設楽ほか，2002；日本建築学会，2015）より、融雪係数 S_m を(1)式で推定する。

$$S_m = 0.02 \exp(-0.078T_m) \quad [\text{kNm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}] \quad (1)$$

ここに、 T_m は1,2月の平均気温である。

この式を用いることにより、積雪深と気温のデータを用いて、リアルタイムに積雪重量を推定することが可能となる。特に、重量の推定値が0を下回ることはないこと、また、積雪密度の値が 500 kg/m^3 を上回らないこと、という条件を入れて計算すれば、極めて簡単に地上積雪重量を推定できることになる。

観測点の基本データ（気象庁，2018）を図-11に、上述のようにして推定した地上積雪重量の値を、累積水当量、日々の融雪量の推定値と共に図-12に示す。

図-12より、勝山（福井に比して積雪は2,3割増し）では2月4日から急激に荷重が増え、大凡 3 kN/m^2 を超える程度に達していたと推定される。その後2月13日に掛けて荷重のピークを迎えており、この結果は現地でのヒアリング結果と一致している。積雪深のピークと積雪重量のピークには6日ほどのタイムラグがあったと推定される。

(4) まとめ

以上、現地調査と気象資料に基づく荷重推定を通じて、今冬の大雪で被害を受けた建築構造物の倒壊時の屋根雪荷重推定を行った。なお、本報で示した

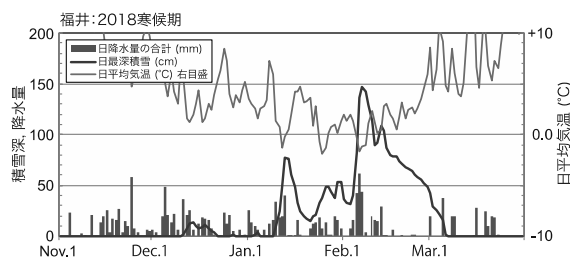


図-11 福井における気温、日最深積雪と日降水量

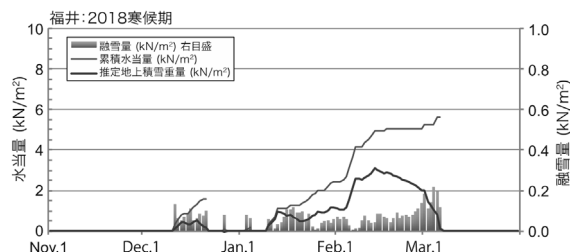


図-12 福井における累積降水量と推定積雪重量

推定値は、実測されたものではないので、今後、推定地点を増やすと共に、建物耐力の面からも検証を行う必要がある。

なお、本報告は（高橋，2018）に報告したものを編集したものである。

6. 冠雪害

6.1 はじめに

樹木に多量の着雪が生じると、その荷重によって樹体の破壊が起こることがある。これを（樹木・森林の）冠雪害とよび、その被害の形態として、樹冠より低い位置で幹が破壊されて折れる「幹折れ」、幹が樹冠内で折れる「幹梢端折れ」、幹が弓状に曲がる「幹曲がり」、幹が根系から転倒する「根返り」、枝のみが折れる「枝折れ」などがある。森林の冠雪害は林業へ多大な損害をもたらすばかりでなく、被害木が道路・線路に倒れることによる交通障害、あるいは電線への接触・切断による停電などという形での被害も与える。

2017/18冬期には、北陸を中心とした日本海側の各地で大雪による様々な被害が発生したが、1月中旬の大雪に際しては、新潟県と島根県で冠雪害の発生が報道された。このうち新潟県では、五泉市や田上町などで倒木による道路の通行止め、集落の孤立や停電が発生し、また弥彦町にある弥彦山の登山道では、1月13日の午後に、下山中の登山者1名が倒れた樹木と雪の下敷きになり死亡するという事故が発生した。島根県では、邑南町や美郷町周辺の江の川に面した斜面において多数の冠雪害が発生し、江の川に沿っ

て走るJR三江線が1ヶ月以上にわたって運休となった。

著者らは新潟県、島根県それぞれで冠雪害の概況調査を実施したが、本稿では、それらのうち新潟県弥彦町で発生した、死亡事故を伴う冠雪害の調査結果について述べる。

6.2 冠雪害による死亡事故の概要

1月11日から12日にかけて、新潟市を中心とする新潟県沿岸地域で大雪となり、アメダス新潟では12日午前80 cmの最大積雪深を記録した。新聞報道（新潟日報・三条新聞）によると、1月13日の16時45分ころ、弥彦村にある弥彦山「表参道コース」登山道の「清水茶屋」付近を下山中の登山者1名が、雪の重みによって倒れたスギなどの樹木と雪の下敷きとなり、約15分後に救出されたがすでに意識がなく、現場で死亡（死因は出血性ショック死）が確認された。事故現場となった「清水茶屋」の西側はごく浅い谷状を呈する急斜面で、主にスギからなる森林に広く覆われている。登山道は急斜面をジグザグに上がるようにつけられているが、「清水茶屋」からこの急斜面にかけて、冠雪のために倒伏・折損した樹木が多く見られたため、1月15日に、主な被害木の状況を観察・計測するとともに、「清水茶屋」から約30 m下方の林内で積雪深・積雪水量の観測を実施した。

6.3 冠雪害の状況

「清水茶屋」付近、およびその西側の急斜面には、冠雪の荷重によって根返り、幹折れ、枝折れなどの被害を被った樹木が多く見られた。顕著な被害を受けた9本の樹木のうち8本がスギであり、そのうち7本の被害形態が「根返り」であった。残り2本の被害は、スギの幹折れとケヤキと思われる広葉樹の枝折れ（太い枝2本）である。事故現場である「清水茶屋」のすぐ脇では、スギ2本の根返りと広葉樹の枝折れがお互いにごく近い場所で起こっていた（写真-3）。被害を受けたスギはいずれも胸高直径が30～50 cmあり、樹高は30 m程度であった。一般に、樹高が大きいものに対して直径が小さい（「形状比」が大きい）細長い木ほど冠雪害を受けやすいとされる（例えば石川ほか，1987）。しかし今回被害を受けたスギやその周辺のスギは、極端に細長い形状を示してはいなかった。

なお、1月15日13:55の時点で、「清水茶屋」から約30 m下方の林内における積雪深は50 cm、積雪水量は95 mmであった。



写真-3 死亡事故発生地点における冠雪害の状況

6.4 冠雪害発生前後の気象条件

調査地域に分布する樹木には、15日の日中においても、依然としてかなりの量の冠雪があることが観察されている。しかし冠雪がいつ、どのように発生し、個々の被害木がいつ倒伏・折損したか、またその時点における冠雪量がどれだけだったかについての情報は無い。そこで弥彦山周辺の気象データをもとに、冠雪が発生した状況の推定を試みる。

弥彦山の事故現場に最も近い気象庁アメダスの巻観測所における、1月11日から14日までの気温、風速、降水量と、アメダス新潟観測所、および新潟県土木部によって三条で観測された積雪深の推移を図-13に示す。巻では1月8日から断続的に降水が続いていたが、10日午後以降は気温が2℃以下に下がり、強風のもとで湿った雪が降っていたものと考えられる。11日午前中も同様の気象条件が続いたが、11日午後になると気温が氷点下になるとともに降水量が増加して、乾いた雪が激しく降る状況となった。12日になると氷点下の気温は続いたが、降水量は小さくなり、また風速も弱まっている。12日夜半から13日午後の、事故の起こる少し前までは降水は観測されず、氷点下の気温で風も弱い状況が続いていた。そして巻では15時ころから再び雪が降りだし、16時から16時半ころにかけては強い降り方になっていた。

冠雪害発生時の気象条件はかなり多様であることが知られているが、地上気温については「-3 ～ 3℃」、とくにプラスからマイナスへと推移していく条件下では、みぞれや濡れ雪が枝葉に凍着するために冠雪が発生しやすいとされている（例えば石川ほか，1987）。弥彦山の場合、11日午前中までに降っていた湿雪がその後の低い気温の下で枝葉に凍着し、それ以降に降った乾雪がさらに堆積・付着して荷重が増加した可能性があると考えられる。ただし、死亡事故につながった根返りによる倒伏がどのような過程で起こったかについては不明である。

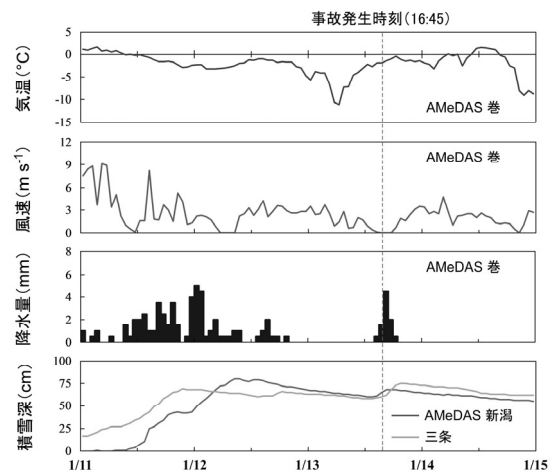


図-13 2018年1月11日～14日における、アメダス巻観測所での気温・風速・降水量の推移、およびアメダス新潟観測所と新潟県土木部によって三条で観測された積雪深の推移

7. 雪崩災害

7.1 福井県で発生した大規模雪崩

大雪となった福井県大野市の荒島岳北東斜面（図-14）で、2018年2月13日と3月9日に流下延長2 km以上の性質の異なる大規模な雪崩が2回発生した。その雪崩の現地調査結果を示す。



図-14 雪崩発生状況

(1) 雪崩の発生状況

発生した斜面、雪崩の発生状況は図-14のとおりである。2回の雪崩とも道路に設置されたスノーシェッドよりも幅が広く流れ、道路上にデブリが堆積した。2月13日の雪崩は道路下のダム湖上を流下しさらに、対岸に乗り上げていた（図-15）。ダム湖には雪崩による倒木やデブリが湖面に浮かんだ状態であった。3月9日に発生した雪崩の発生区を上空から調査した結果（図-16）、表層雪崩の破断面と推定される形跡と小規模な全層雪崩の発生跡が確認された。

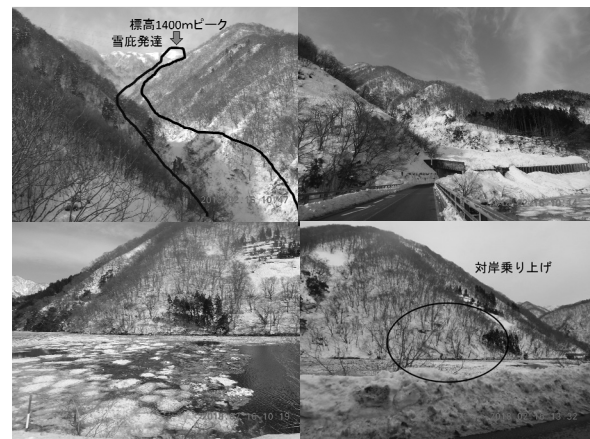


図-15 1回目の雪崩の発生状況（2018年2月16日調査）

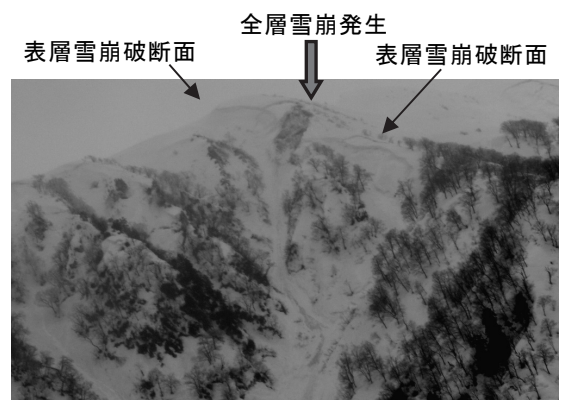


図-16 2回目の雪崩の発生状況(2018年3月11日調査)

(2) 気象・積雪状況

1回目の雪崩は アメダス九頭竜（標高436 m），気象積雪状況（図-16）から、最も積雪が増加した大量降雪時に発生している。雪崩発生区の標高が1350 mで稜線には雪庇も確認されており、風下側の不安定な新雪が崩落して発生した表層雪崩と推定される。また、図-17と図-18に示すアメダス大野（標高182 m）での気象状況果から、第2回目の雪崩は、発生区付近では雨や湿った雪が3月8日～9日午前にかけて降って上載荷重が増加したことも発生要因であると考えられる。



図-17 気象・積雪の変化(九頭竜アメダス観測点)と雪崩発生日

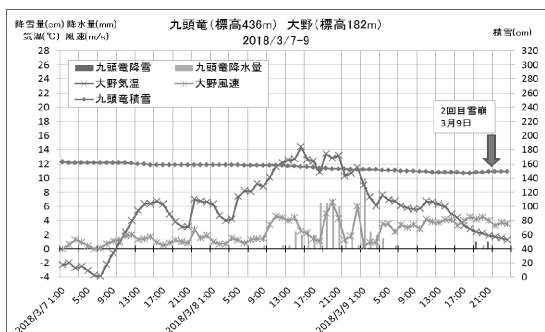


図-18 気象・積雪の変化(大野アメダス観測点)と雪崩発生日

7.2 東北地方の雪崩災害

2017/18年冬季の東北地方では2月中旬頃に最大積雪深を記録し、2月下旬から急激な気温上昇が見られ、その時期に集中し表層雪崩および全層雪崩による被害が確認された。以下に、秋田県、山形県で発生した3件の雪崩災害についての調査結果を報告する。

(1) 秋田県湯沢市高松泥湯温泉で発生した雪崩について（現地調査日：4月16日）

2月13日19時50分頃、秋田県湯沢市高松泥湯温泉で表層雪崩が発生した（写真-4）。雪崩は温泉旅館の客室を直撃した。雪崩は客室の窓ガラスを割り、2階の客室内にまで雪が入り込んだ。その旅館は冬季休業中であったため怪我人はいなかった。1996年1月31日にも同地点で表層雪崩が発生している（阿部ら、1996）。地形と植生の様子から今回発生した雪崩と1996年に発生した雪崩では発生地点および走路は一致すると考えられる。また、ヒアリング調査により大雪になるとたびたび同様の雪崩が発生していることが明らかになった。今後も大雪となった場合には同様の雪崩が発生する可能性は否定できない。



写真-4 被害を受けた旅館と雪崩斜面の様子（2018年4月16日）。写真中の破線矢印が推定される雪崩走路である。なお、雪崩発生面は確認されていない。

(2) 国道46号仙岩トンネルで発生した雪崩について（現地調査日：3月1日，3月9日）

2月14日18時40分頃、国道46号仙岩トンネルの秋田県側入り口付近で表層雪崩が発生した（写真-5）。片側一車線の道路全体が雪で塞がりトンネル内に複数台の自動車が立ち往生した。雪崩発生後に仮設の雪崩防護ネットと雪堤が設けられるなど迅速な対応が行われた。3月1日には強い雨や風をとともう所謂、春の嵐となり、3月9日、11日の現地調査では同一斜面で全層雪崩が発生したあとが確認された。この全層雪崩による怪我人などの報告はない。



写真-5 仙岩トンネルの様子（3月9日撮影）。仙岩トンネル右側の斜面を雪崩が通過した。

(3) 国道48号関山峠で発生した雪崩について（現地調査3月2日）

2月29日に関山峠関山トンネル宮城県仙台市側入り口付近で全層雪崩が発生した。雪崩はスノーシェッド上を通過したため道路を完全に埋めてしまうことはなかったが、スノーシェッド内に雪が巻き込む様に侵入してしまったため、片側1車線を埋めてしまった（写真-6）。この雪崩による怪我人などの報告は

ない。スノーシェッド内への雪の侵入の対策のため防護ネットの設置が検討されている。

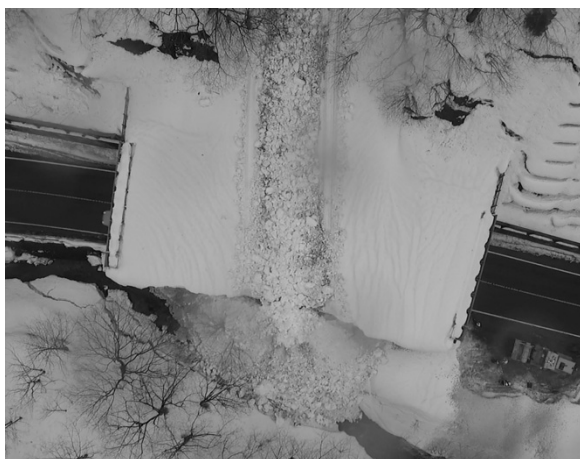


写真-6 関山峠のスノーシェッド上を雪崩が通過した様子（3月2日撮影）。道路沿いの川に多量の雪が流れ落ちたが、堰き止められることはなかった。

8. 雪泥流災害

8.1 Rain-on-Snowイベントに伴う災害の概要

2018年3月8～9日、東シナ海で停滞前線上に発生した低気圧が日本海を北東に進み、9日明け方から昼前にかけて北海道付近を通過し大雨をもたらした。3月9日の日降水量は、中徹別で146 mm、白金で134.5 mm、目黒で119.5 mmを観測するなど、北海道では3月としての極値を73地点で更新した（札幌管区気象台、2018）。3月9日には北海道全域に積雪があり（図-19）、この大雨はRain-on-Snowイベント（積雪期の降雨イベント）であった。

この大雨と急速な雪解けによって、北海道内各地で、床上浸水・床下浸水などの住家被害、倉庫の倒壊や空き家の屋根崩落などの非住家被害、冠水による鉄道の運休や国道・道道の通行止め、ビニールハウス浸水による農業被害などが発生するとともに、多数の世帯に避難指示（緊急）が発令された。雪崩や雪泥流も多数発生し、美瑛町の辺別川では雪泥流による死者（1名）が出た。そこで著者らは、上川地方南部の美瑛町と富良野市で発生した雪泥流災害の調査を3月14日と3月23～25日に実施した。

8.2 調査場所

調査場所は、美瑛町辺別川（護岸工事作業中の男性1名死亡）、富良野市布礼別川（床下浸水、畑の冠水）、富良野市東鳥沼の用水路（ビニールハウス倒壊）の3箇所である。調査では、雪泥流デブリや河川内積雪を調べるとともに、目撃者や災害発生直後に現場を確認している警察・報道関係者等から被災状況に関して聞き取り調査を行った。

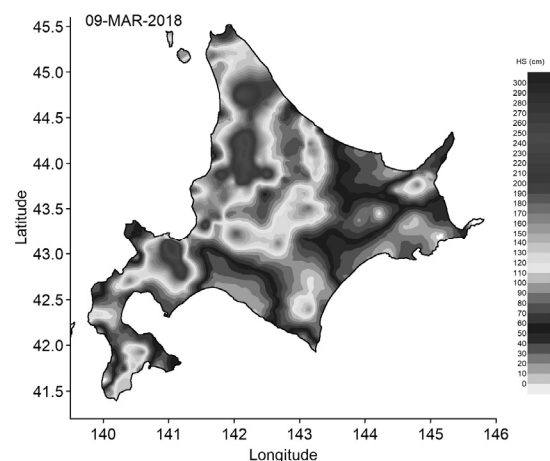


図-19 2018年3月9日9:00の北海道の積雪深分布（準リアルタイム積雪分布監視システムによる）

8.3 美瑛町辺別川の調査結果

本稿では上記3箇所のうち、死者が発生した美瑛町辺別川における雪泥流災害の調査結果について報告する。

(1) 雨量

美瑛町辺別川の災害現場近傍の俵真布（国土交通省、標高409 m）および辺別川の上流域近傍に位置する松山観測所（国土交通省、標高649 m）における2018年3月8～9日の降水量の時間変化を図-20に示す。降水は3月8日の夜遅くから始まり、翌9日の昼過ぎでほぼ完了している。この降水は、気温から判断してほとんどが降雨であったものと考えられる。災害現場近傍の俵真布観測所の2日間降水量は38 mmであり、著しく多いというわけではない。しかし、松山観測所では97 mmに達しており、辺別川の上流域では3月としては極めて多い雨量がもたらされた可能性が高い。

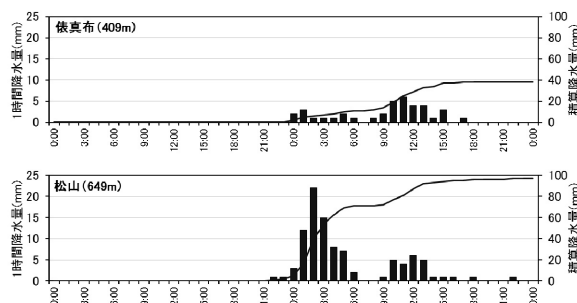


図-20 2018年3月8～9日の降水量の時間変化

(2) 被災状況

被災現場は美瑛町俵真布の九線橋から約100 m上流の辺別川左岸の護岸改修工事現場（2016年の台風

被害の復旧工事)である。3月9日12:34に雪泥流が現地を襲い、男性作業員1名がのみ込まれてシャーベット状の雪に埋没した。現場付近は、河道がカーブしていたため、上流から直線的に流下してきた雪泥と、カーブの外側を流下し屈曲点付近の右岸に乗り上げたのち方向転換した雪泥とに挟まれる形になり、被災者は逃げ切ることができなかった。無事に逃げることであった作業員と救急隊がゾンデ棒等を用いて捜索した結果、13:42に深さ約1.7 mの位置で男性は発見された(死因:溺死)。事故当日の朝、雨が降っていたため被災者は河川水位を複数回測定しながら作業を行っており、事故の数分前の水位は当日8:45の水位に比べて約40 cm上昇していた。

(3) 雪泥流デブリ及び河川内積雪の状況

3月14日の調査では、現場周辺には雪泥流デブリが1~1.5 m程度の厚さで堆積した箇所が複数認められた(写真-7)。デブリには、河川氷と考えられる大きな板状の氷(大きいものは数mのサイズ、厚さ30センチ程度)も多数含まれていた。現地踏査及びUAVによる空撮から、雪泥流デブリは被災現場から約5 km上流にある上俵真布橋付近まで散在していた。災害発生の2日前に撮影された辺別川の写真によると、被災現場周辺では、幅の狭い水路状の表面水が露出している場所もあったが、河道のほとんどもしくは全面が積雪に覆われていた。このことから、比較的多量の河道内の積雪(3月14日の測定では70~80 cm)が雪泥流の規模を大きくした可能性がある。



写真-7 積雪に乗り上げて堆積したデブリ(辺別川)

7.3 今後の課題

2017/18年冬季のような大雪年に発生するRain-on-Snowイベントは雪泥流災害のリスクを著しく増大させるため、寒冷積雪地域である北海道においても今後のRain-on-Snowイベントの出現傾向に注目する必要がある。また、工事現場での雪泥流に対

する安全管理基準の整備や監視システムの構築が望まれる。

8. おわりに

2017/18年冬期はしばしば日本海寒帯気団収束帯が発達したため、本州日本海側の海岸平野部を中心に各地で記録的大雪となった。その結果、本稿で述べたように、幹線国道の大規模な車両滞留、水道管凍結被害、建築構造物被害、冠雪害、雪崩・雪泥流災害が各地で発生しており、広域的かつ多方面に大きな影響を及ぼした。特に、厳冬期である1~2月の大雪では里雪が卓越したため、平野部(都市部)が大きな被害を受けたことが特徴であり、都市雪害の観点から多くの課題を残す結果となった。今後、除雪体制の強化、情報提供、関係機関の連携等の観点からの十分な検証が必要である。人的被害としては、屋根の雪下ろし等、除雪作業中の死者が全体の9割近くを占めたことを重大な問題として捉える必要があるが、本研究ではこれについて踏み込んだ調査研究を行うことができておらず、今後に残された大きな課題である。

謝 辞

本研究の一部は、平成29年度京都大学防災研究所重点推進型共同研究「突発災害時の初動調査体制の更なる強化及び継続的調査研究の支援(研究代表:神戸大学・大石 哲教授)」の支援を受けた。

建築構造物被害の調査にあたっては、福井大学大学院工学研究科の石川浩一郎教授、井上圭一准教授にご同行いただき、勝山市へのヒアリングに便宜を図っていただいた。福井県の雪崩調査にあたっては、防災科学技術研究所気象災害軽減イノベーションセンターの長峰聡氏にご協力いただいた。秋田県湯沢市高松泥湯温泉で発生した雪崩の調査にあたっては、和泉薫名誉教授(新潟大学)にご同行いただき、現地調査にご協力いただいた。北海道の雪泥流災害の調査にあたっては、旭川東警察署、NHK旭川放送局、大北土建工業株式会社の関係者から情報を提供していただいた。以上の方々に心より感謝いたします。

参考文献

- 阿部 修・小杉健二・納口恭明・河島克久(1996): 秋田県泥湯温泉の雪崩災害調査報告, 東北の雪と生活, 第11号, pp. 33-36.
- 石川政幸・新田隆三・勝田 柁・藤森隆郎(1987): 冠雪害-発生のおしきみと回避法-, 林業科学技術振興所, pp. 101.

- 伊豫部勉・河島克久・和泉 薫 (2013) : 積雪深分布の準リアルタイム監視システムの開発, 新潟大学災害・復興科学研究所年報, 第2号, pp. 69-70.
- 気象庁 (2018) : <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2018年4月1日閲覧) .
- 気象庁 (2018) : 平成30年冬の天候の特徴とその要因～異常気象分析検討会の分析結果の概要, 平成30年3月5日報道発表資料.
- 国土交通省近畿地方整備局 (2018) : 国道8号冬期道路交通確保対策会議 (第1回) 配布資料.
- 国土交通省近畿地方整備局 (2018) : 国道8号冬期道路交通確保対策会議 (第3回) 配布資料.
- 札幌管区気象台 (2018) : 平成30年3月8日から9日にかけての大雨と融雪に関する気象速報, <http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/pdf/KishoH300308-0309.pdf> (2018年4月6日閲覧) .
- 設楽敬之・高橋 徹・B. Ellingwood (2002) : クリギング法と重回帰分析による積雪荷重の推定と比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集B1, pp. 67-68.
- 消防庁 (2018) : 今冬の雪による被害状況等, 2018.3.9 現在.
- 高橋 徹 (2018) : 2018年寒候期の大雪による建築物被害と雪荷重のリアルタイム推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 日本建築学会, 構造I, pp. 15-16.
- 中日新聞Web (2018) : <http://chunichi.co.jp/kenmin-fuku/article/kenmin-news/CK2018020602000248.html> (2018年3月1日閲覧) .
- 内閣府 (2017) : 防災白書 (平成29年版) .
- 新潟地方気象台 (2018) : 2018年冬 (12月～2月) の天候経過, <https://www.jma-net.go.jp/niigata/menu/kiseatsu/2018winter.pdf> (2018年8月17日閲覧) .
- 日本建築学会 : 建築物荷重指針・同解説 (2015) , 日本建築学会.
- 本田明治・楠昌司編 (2007) : 2005/06年 日本の寒冬・豪雪. 気象研究ノート, 第216号, pp. 290.
- Honda, M., Inoue, J. and Yamane, S. (2009): Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 36, L08707.
- Takahashi, T., Kawamura, T., Kuramoto, K. (2001): Estimation of ground snow load using snow layer model, 日本建築学会構造系論文集 No.545, pp. 35-41.
- Wallace, J. M., and Gutzler, D. S. (1981): Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 109, pp. 784-812.

レーダーネットワークを活用した統合防災システムの構築

山中 稔*・佐々浩司**・橋本 学***・中川 一***・川池健司***
・張 浩**・森 牧人**・村田文絵**・寺尾 徹*

* 香川大学

** 高知大学自然科学系

*** 京都大学防災研究所

要 旨

本研究は、災害につながるような極端気象が頻発する高知県をフィールドとして5台のMPドップラーレーダーと地上観測ネットワーク、GPS可降水量データの利用などからなる大雨や突風などに対する統合的な気象防災システムを構築することを目的とするものである。2年間でレーダーネットワーク、地上観測ネットワークおよび水位計などによる観測体制を確立し、レーダーネットワークによる降水量評価、河川氾濫対応操作、GPS可降水量による降雨予測などを行ってきた。ここでは、レーダーネットワークに関連する成果を中心として紹介する。

1. はじめに

太平洋に面する高知県は、年間降水量が2500mmを超え時間雨量50mmを超える強雨も多発する突出した豪雨地域であり、四国の瀬戸内海側に面する他県とは明瞭な気候学的な違いが見られる。2018年7月の西日本豪雨（気象庁 2018）においても対象期間に最も多くの降水量を記録したのは高知県内の魚梁瀬であった。また、高知市から安芸市にかけての海岸線沿いの地域はほぼ毎年1回は竜巻被害が発生する竜巻地域（Sassa et al. 2011）でもある。

本研究は、このような風水害の危険性が高い高知県において、高知大学が運用しているMPドップラーレーダー ネットワーク（図-1）を用いて、1～2分程度のタイムラグで大雨、洪水、突風などに関連する情報を提供するとともに、GPS可降水量データも用いた統合的な防災システムを構築し、その有効性を検証することを目的とするものである。2016年度からの2年間に地上気象観測ネットワークを構築して高知大学のMPドップラーレーダーの降水量評価の検証（西井、佐々 2017, 2018, 村田、佐々 2017, Murata & Sassa 2017）や、レーダーネットワーク表示アルゴリズムの作成（西井、佐々 2018）を行ってきた。また、レーダー降水量に関連づけた内水外水氾濫予測の関連調査として2014年豪雨で氾濫のあった高知市北部の久万川、紅水川に水位計観測網を構築し、排水ボ

ンプ稼働に伴う降雨量と水位の遷移関係を調査（Zhang et al. 2017, 坂東ら 2017）するとともに、マンホール内の水の挙動に関する実験（Zhng et al. 2017, 2018, 松田ら 2017）も行ってきた。さらに、GPS可降水量を用いた大雨予測指標の評価（森ら 2016, 2018, 坂出ら 2017, Mori et al. 2017）を行い、統合防災システムとしてのパーツを築き上げてきた。ここでは、これらのうちレーダーを主体とした研究成果のみについて紹介する。

2. 降雨観測精度の評価

2.1 雨量評価手法

本レーダーネットワークにおける各レーダーは図-1に示す朝倉レーダーのみ探査範囲80km、それ以外は30kmのXバンドMPレーダーである。観測モードは現在は朝倉レーダーが3～5度の低仰角を1分毎、5分度高仰角までボリュームスキャンを行い、他のレーダーは3度～16度の5仰角を1分毎にボリュームスキャンしている。これらのレーダーの降雨量推定は、 Kdp [deg/km]および水平反射因子 Z [mm⁶/m³]を以下の式で降雨強度 R (mm/h)に換算することにより行った。

・ Kdp - R 関係式 ($Z > 30$ dBかつ $Kdp > 0.3$ deg./kmの場合適用)

$$R = a \times 19.6 \times Kdp^{0.825} \quad (1)$$

・ Z - R 関係式 (上記の場合以外に適用)

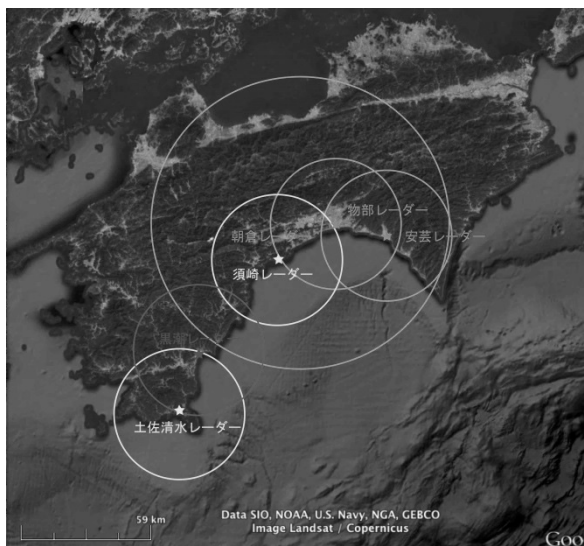


図-1 各レーダーの観測範囲 緑は既存、黄色は2018年4月より稼働、赤は2018年10月設置予定

$$Z=BR^{\beta} \quad (2)$$

Kdp - R 関係式に関してはMaki et al. (2005)の式を基にしているが、本レーダーにおいて K_{DP} - R 関係式の過小評価が確認されていることからXRAINを参考に補正係数 $\alpha=1.3$ を導入している(Maesaka et al., 2011)。 Kdp は降雨減衰の影響を受けない一方で、弱雨においてはノイズの影響が大きくなることから、強雨(約9.4 mm/h以上)と弱雨で関係式を切り替えている。 Z - R 関係に関しては降水の特性以外にもレーダーの較正や個体差によって関係式が異なることから、後の節で紹介するように、それぞれの反射強度 Z と雨量データ R の散布図により回帰線を求めてレーダー毎に係数 B 、 β を決定した。係数の決定にあたっては $Z=20\sim30$ dBZにおける1 dBZ毎の層別平均値を用いた。

2.2 レーダーデータの品質管理

各レーダーは地形クラッタ除去のためのMTI処理を行っているが、晴天時エコーなどには地形クラッタが目立つほど十分な除去はできていない。朝倉レーダーについてはMTI処理前後における受信電力の比較ができることから、MTI処理前後の受信電力の差が5 dBZ以上のメッシュはクラッタの影響が大きいとみなし欠測とした。他のレーダーに関してはMTI処理後のデータのみ提供されているため、晴天時観測により恒常的に強いエコーが出ている個所をマッピングすることで地形クラッタの除去を図った。また、地形クラッタの影響がないレーダーデータについても偏波間関係数 ρ_{HV} が0.6未満のメッシュについては昆虫や煤煙など非降水由来のエコーであるとみなし除去を行った。一方、地形により一部電波が遮蔽されるような領域では信号が大きく減衰するた

め、このような領域には各仰角ごとにマスクをかけて解析対象から除去する処理を行った。

2.3 降雨量推定の検証

本ネットワークのうち、観測期間の長い朝倉、物部、安芸の3つのレーダーによる降雨量推定の精度を検証するために、地上雨量計との比較を行った。

降雨量推定の検証に用いた降雨事例は、2017年に観測された下記の4つの降水イベントである。(時刻はすべてJST)

5月12日18:00～5月13日 9:00

6月20日17:00～6月21日8:00

8月6日10:00 JST～8月7日16:00

9月16日23:00 JST～9月17日23:00

いずれも1時間に20 mm以上の強い降水が観測された事例を評価に用いている。比較に用いた地上雨量計は、探査範囲内に分布しているアメダス12地点及び本共同研究により設置した5地点を含むPOTEKA NET 17地点の地上雨量計である。図-2に各観測地点の分布を示す。地上雨量計はいずれも1転倒雨量0.5 mmの転倒ます型雨量計であり、比較には10分間降水量のデータを使用した。

2.4 降雨量推定の検証

図-3は、弱い雨に対するレーダー反射強度と降水量との関係に対数プロットしたものである。図中の係数は式(2)の係数で、 $Z=20\sim30$ dBZにおける1 dBZ毎の層別平均値を用い、回帰線の係数を定めた。いずれのレーダーも気象庁で用いられている式とは係数が大きく異なっている。

図-4に式(1)(2)合わせてレーダー雨量の精度を評価した結果を示す。朝倉、安芸レーダーに若干の過小

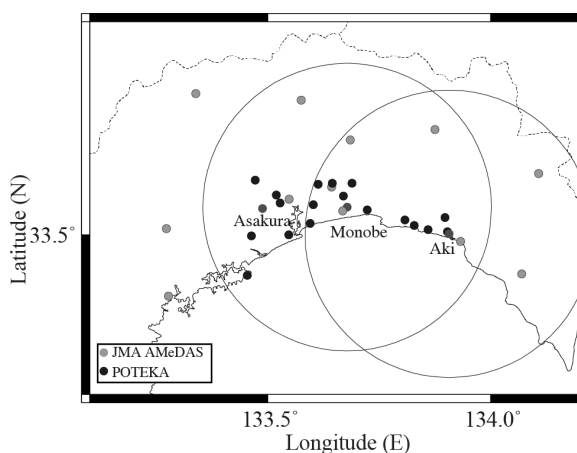


図-2 降雨量評価の検証に用いた地上雨量観測点の分布。赤点は各レーダーの設置位置、青丸は物部レーダーと安芸レーダーの観測範囲を示す。

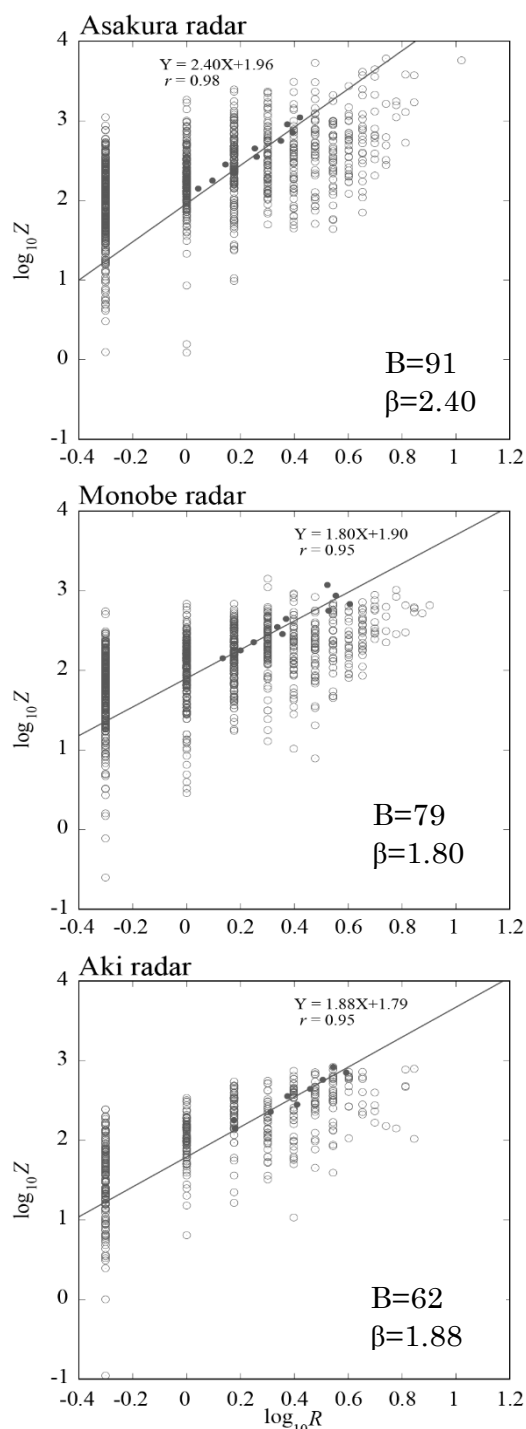


図-3 各レーダーのZ-R関係

評価の傾向があるものの、相関はいずれも0.8程度であり、おおむね正確にレーダーが地上の降水量を的確に評価していることがわかった。強雨においてはほとんどの場合図中の緑プロットに示すようにKdp-R関係による算出が5割以上となっており、Kdp-R関係が正確な降雨量推定に寄与していることが示された。一方、レーダーからの距離別に降雨量評価精度を調べると、表-1に示すようにレーダーからの距離が遠くなるほど過小評価の傾向がみられる

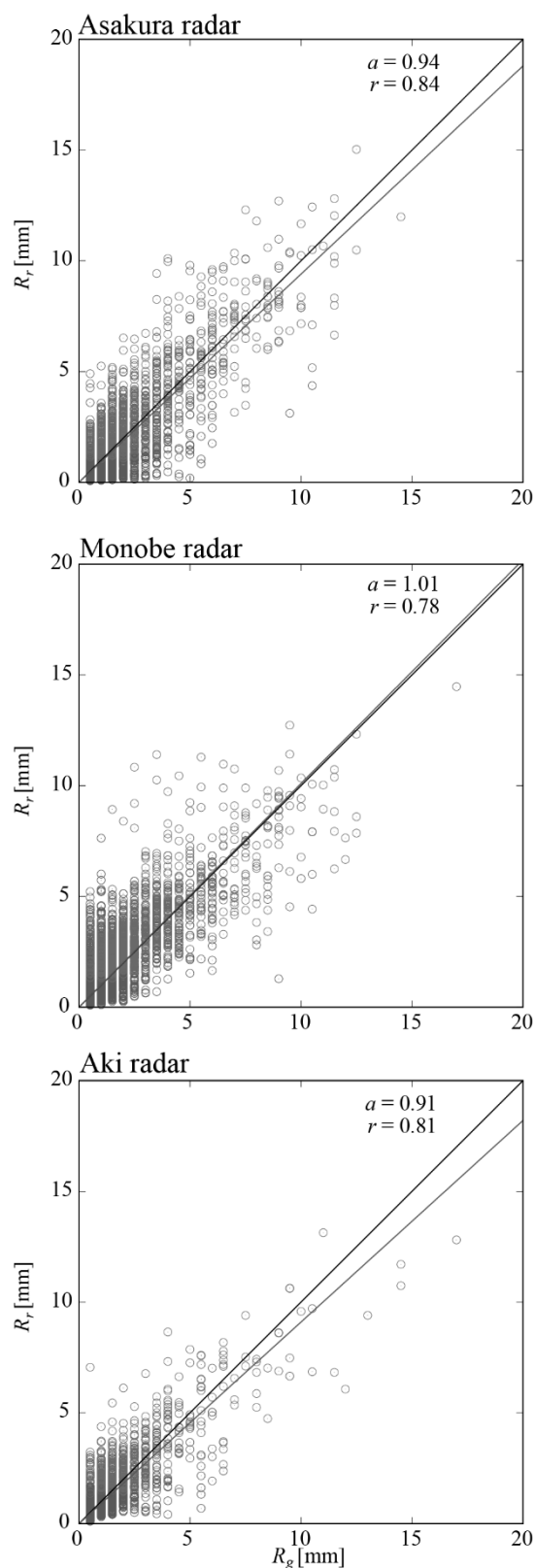


図-4 各レーダー降水量と地上降水量との比較

ことがわかった。これは、遠方ほどビーム幅が広がって分解能が低下することや、観測高度が高くなっていく影響が関与しているものと思われる。これらの課題はレーダーネットワークとして複数のレーダ

ーにより

表-1 降雨量回帰直線におけるレーダーからの距離依存性

Distance from Radar [km]	Asakura		Monobe		Aki	
	<i>a</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>r</i>
0-10	1.07	0.88	1.01	0.81	0.95	0.87
10-20	0.88	0.84	1.04	0.79	1.31	0.78
20-30	0.81	0.75	0.99	0.7	0.78	0.56
30-	0.72	0.68	-	-	-	-

観測領域を相互補完することにより，解消されることが期待されている。

3. レーダーネットワーク

レーダーネットワーク構築にあたっては，1分毎の各レーダーの観測値をサーバーに蓄積後，すぐに降水強度 $R[\text{mm/h}]$ のCAPPIデータ(高度1km)を作成している。現時点では観測後1分程度の準リアルタイムで図-5に示すようなネットワーク降雨強度合成データを提供することが可能となっている。CAPPIデータ作成にあたっては，各PPIスキャンにおけるデータを水平方向 $0.01r+0.1\text{ km}$ (r はレーダーからの距離[km])，鉛直方向 0.75 km (朝倉レーダーのみ水平方向 $0.02r+0.2\text{ km}$ ，鉛直方向 2.5 km)の影響円を考慮したクレスマン補間により内挿し，150 mメッシュの格子点データを作成した。気象庁レーダーネットワークによる高度2kmの降雨情報と異なり1kmとしたのは，より下層で直接降雨に関係する情報を得ることと，暖かい雨などあまり上層まで発達しない雨雲の様子を捉えることを想定したものである。図-5は2018年7月初旬の西日本豪雨時のものである。時間帯によっては各レーダーの減衰補正が遠方で過度に現れて，各レーダーの観測範囲が明確に読み取れるような合成画像もみられるが，ここでは一部線状に組織化した降水帯の様子がネットワークデータとしてよく表現されている。

4. 気象庁レーダーによる渦の検出

4.1 解析手法

本研究では，高知大学MPレーダーネットワークに渦の自動検出アルゴリズムも組み込み，竜巻に対する早期警戒システムとすることも検討している。ここでは，その前段階として，そもそも国内でどれだ

けの渦が大気中で検出されるか，どの地域で渦の発

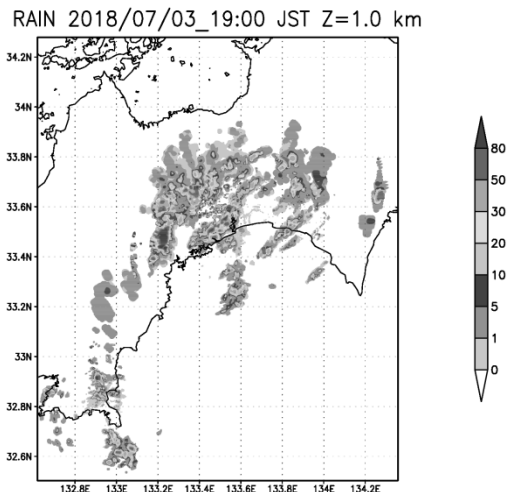


図-5 2018年7月3日19JSTにおける降水システムの様子

生が多いのか気候学的な特性を把握することを目的として，気象庁の全国20箇所のドップラーレーダーを用いて渦の発生状況を調べた。これらの結果は気象庁竜巻等突風データベースと異なり，人口バイアスなどの影響を受けることなく竜巻発生状況を客観的に評価する一つの指標となり得る。解析期間は2013年の季節を代表する3,6,9,12月の4ヶ月間であるが，名瀬のレーダーはドップラー速度の欠測が多かったことから19地点の解析とした。

渦の探査範囲はレーダーから半径150 kmとした。渦の検出については鈴木ら(2006)の開発したアルゴリズムを用いた。これは各PPIスキャンにおいてランキン渦の速度分布を仮定し，ドップラー速度の方位角方向の極大極小のペアを渦として検出するものである。本研究では極大極小のドップラー速度差の閾値を10 m/s，渦径 R が $0.1 \leq R \leq 10\text{ km}$ かつ，渦度が発散より大きいものを抽出した。さらに，検出された渦について時間方向と仰角方向の連続性を判定することにより誤検出の除去を図った。時間方向には最低仰角における連続する2スキャン(5分間隔)について，渦中心の距離が6 km以内で検出されたものを連続する渦とし，仰角方向には2仰角間の渦中心の水平方向距離が1km以内のものを連続とみなした。この手法では渦が密集している場合一つの渦について複数の連続性が仮定される場合があるが，現段階では複数の候補のいずれか1つに連続性があるものとして処理した。

4.2 解析結果

図-6は全国19地点のレーダーと，同様な傾向をも

つと判断された太平洋側、日本海側、南西諸島の3

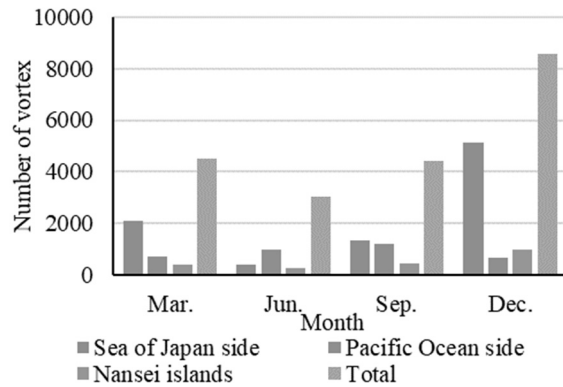


図-6 月別の渦検出数

つに区分される地域の4ヶ月の発生数を比較したものである。太平洋側に分類されたものは静岡、名古屋、大阪、室戸、広島の5地点で、日本海側は札幌、函館、秋田、新潟、福井、松江の6地点、南西諸島は沖縄と石垣島の2地点である。他のレーダーの発生状況は例えば東京はこれらと少し傾向が異なっていた。日本海側の12月における発生数が突出しており、その結果全国においても12月が最も多い結果となった。一方、竜巻等突風データベースにおいては、9月の竜巻発生認知数が最も多く、太平洋側地域の特性と似た傾向にある。

時刻別の発生数で見ると、全体では日中にやや多い傾向が見られたがほぼフラットな発生状況であった。3月は午後に多くなる竜巻等突風データベースと同様な傾向が見られたが、9月、12月はほとんど変化がなく、6月は午前中にピークが見られるなど、突風データベースと傾向が異なることがわかった。

渦の持続時間を調べた結果を図-8に示す。1時間以上持続するスーパーセル的なものも52個検出されたが、ほとんどの渦は連続性が認められた2スキャンで消滅する寿命の短いものであった。このことは、国内で発生する竜巻の9割以上がノンスーパーセルタイプであることと対応している。すなわち、積乱雲内に渦が発生してもメソサイクロンとして持続するようなものは日本ではかなり稀であるという気候学的特徴が明らかとなった。

図-7 時刻別の全国の渦検出数

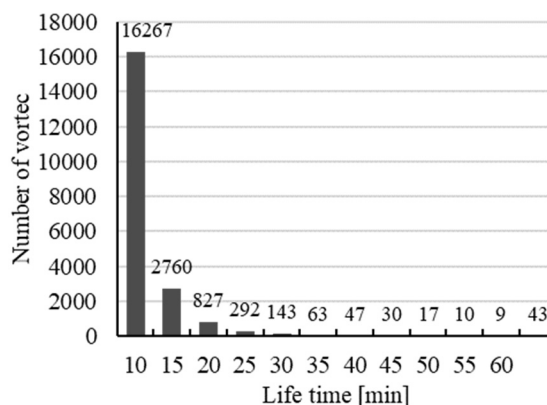
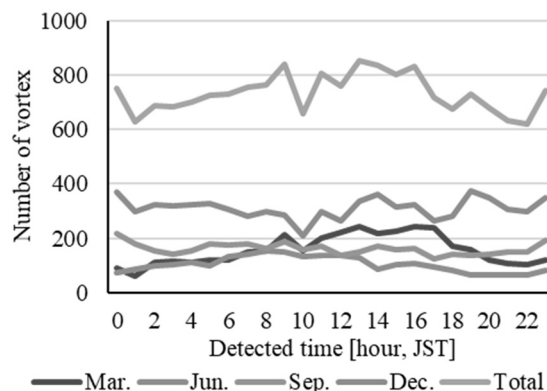


図-8 渦の持続時間

5. まとめ

本研究は謝辞に記したように、京都大学防災研究所地域防災実践型共同研究（特定）28R-01を中心として様々な研究支援のもとに高知県の気象防災システムを構築してきた。2年間の研究期間を通じて、レーダーネットワークシステムはほぼ完成するとともに、降雨評価量の精度向上についてもほぼ妥当な水準に到達した。氾濫予測システムやGPS可降水量を用いた大雨予測についても、ほぼ完成しつつある。今後これらの成果に基づき統合防災システムの構築を進めていきたい。

謝 辞

本研究は、京都大学防災研究所地域防災実践型共同研究（特定）28R-01により進められた。また、一部は、総務省SCOPE(受付番号165009001)の委託を受けて進められ、JSPS科研費(15H02994, 18H01682)および高知大学防災推進センタープロジェクトの支援も受けた。一部のデータは高知地方気象台から提供を受けるとともに、高知県土木部河川課、高知土木事

務所，及び高知市上下水道局の多くの方々にご協力を頂いた。ここに謝意を表す。

参考文献

気象庁，2018：平成30年7月豪雨（前線及び台風第7号による大雨等）53pages.

気象庁竜巻等の突風データベース，

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/index.html>，2018.07.30 参照

坂出知也，森 牧人，能島知宏，佐々浩司，2017：長期GPS可降水量データを用いた高知市の大雨解析．日本農業気象学会2017年全国大会講演要旨，pp. 80.

佐々浩司，西藤大輝，2017：ドップラーレーダーにより検出される渦の視線距離依存性，日本流体力学会年会 2017(東京，2017年8月30日)．

坂東光，張浩，藤原 拓，岡田将治，松岡直明，2017：雨水排除過程に伴う都市放流先河川の水利特性に関する研究．日本流体力学会年会2017(東京，2017年8月31日)．

鈴木ら，2006：メソサイクロン及び局所収束・発散域の検出アルゴリズムの開発-シビア現象の危険度診断のために-，日本気象学会2006年度秋季大会講演予稿集，90，pp.286.

松田亮，張浩，藤原拓，川池健司，2017：マンホール周辺のエネルギー損失に関する実験的研究日本流体力学会年会2017(東京，2017年8月31日)．

山中稔，佐々浩司，橋本学，中川一，川池健司，張浩，森牧人，村田文絵，寺尾徹，2017：レーダーネットワークを活用した統合防災システムの構築，第54回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集，pp.53-60.

村田文絵，佐々浩司，2017：高知大parsivelと偏波レーダーによる背が低い雨滴の特徴の解析，日本気象学会秋季大会(札幌，2017年10月31日)．

西井章，佐々浩司，2017：高知大MPレーダーネットワークによる雨量評価，日本気象学会秋季大会(札幌，2017年11月1日)

西井章，佐々浩司，2018：高知大学MPレーダーネットワークによる降雨観測精度の検証，平成29年度京都大学防災研究所 研究発表講演会(宇治，2018年2月21日)．

西藤大輝，佐々浩司，2018：気象庁レーダーを用いた日本の竜巻発生可能性の分布，平成29年度京都大学防災研究所 研究発表講演会(宇治，2018年2月21日)．

澤谷拓海，張浩，川池健司，中川一，2018：都市域における小規模水利構造物に着目した雨水排水プロセスのモデル化，平成29年度京都大学防災研究所

研究発表講演会(宇治，2018年2月21日)．

森 牧人，門田晃誠，佐々浩司，2018：降水効率及び標準雨量指数を用いた高知市の気候解析．日本農業気象学会2018年全国大会（九州大学伊都キャンパス，2018年3月15日）．

鈴木修，山内洋，中里真久，2006：メソサイクロン及び局所収束・発散域の検出アルゴリズムの開発-シビア現象の危険度診断のために-，日本気象学会2006年度秋季大会講演予稿集，90，pp. 286.

森 牧人，坂出知也，能島知宏，2016：高知市上空の水蒸気変動と大雨の関係～GPS可降水量を用いた予察的解析～．日本気象学会関西支部2016年度第2回例会講演要旨集，第140号，pp. 12-13.

Maesaka, T., Maki, M., Iwanami, K., Tsuchiya, S., Kieda, K., and Hoshi, A. 2011: Operational rainfall estimation by X-band MP radar network in MLIT, Japan, Proc. of 35th Conf. on Radar Meteor, Pittsburg, PA US., 142. 8pages.

Maki, M., Part, S.-G., and Bringi, V.N., 2005: Effect of variations in rain drop size distributions on rain rate estimations of 3 cm wavelength polarimetric radar, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 83, No. 5, pp.871-893.

Mori, M., Nojima, T., and Sai, K. 2017: Quasi-linear relationship between GPS-derived precipitable water vapor and surface vapor pressure observed on dry days in spring and autumn. A case study at Saga Plain in northern Kyushu Island, Japan. Paddy and Water Environment, 15, pp. 425-432.

Sassa, K., Hamada, I., Hamaguchi, Y., Hayashi, T., 2011: Characteristics of mesocyclones observed on Tosa Bay in Japan, The 6th European Conference on Severe Storms, Palma de Mallorca, Spain, 2pages.

Murata, F., Sassa, K., 2017: Observation of rain drop size distribution by Parsivel disdrometers and X-band MP radars in Kochi, Japan International Tropical Meteorology Symposium 2017, Ahmedabad, India, 8.

Sassa, K., Nishifuji, D., Suzuki, O., 2018: Climatology of Mesocyclone Observed by Doppler Radars in Japan, Proc. of International Workshop on Wind-related Disasters and Mitigation 6pages.

Zhang, H., Okada, S., Sassa, K., Fujiwara, T. and Bando, H., 2017: Impacts of drainage discharge on the hydraulics of receiving streams in urban areas, The Second International Top-level Forum on Engineering Science and Technology Development Strategy, October 18-20, Nanjing, China (Invited lecture).

Zhang, H., Matsuda, T., Fujiwara, T. and Kawaike, K., 2017: Impact of sewer pipe arrangement on hydraulic

efficiency of municipal sewerage system, The 10th International Conference on Challenges in Environmental Science and Engineering, November 11-15, Kunming, China

Zhang, H., Matsuda, T., Fujiwara, T., Kawaike, K. and Sassa, K., 2018: Laboratory experiments on the three-dimensional flow in a junction manhole,平成29年度京都大学防災研究所 研究発表講演会(宇治, 2018年2月21日).

2018年6月大阪府北部の地震時の強震動

岩田知孝*・浅野公之*

* 京都大学防災研究所

要 旨

2018年6月18日朝起きた大阪府北部の地震(M6.1)は、最大震度6弱の揺れとなり、都市型の地震被害を伴った。1995年兵庫県南部地震以降に整備された強震観測網、震度計観測網の記録から、震源域の強震動は、震源メカニズムと震源断層の破壊伝播による速度パルス波が、大阪堆積盆地による地盤増幅によって生じたと考えられる。

1. はじめに

2018年6月18日7時58分頃に大阪府北部を震源とするマグニチュード6.1の地震が発生した。この地震で最大震度6弱を観測し、ブロック塀の崩落に巻き込まれるなどの死者4名をはじめとし、負傷者434名、全壊家屋9棟、半壊87棟、一部損壊27千余棟の人的・物的被害が報告されている(内閣府, 7月5日17時現在)。震源域が人口密度の高い地域であったため、防災科学技術研究所地震速報J-RISQでは、震度5強以上の震度暴露人口を2百万人、6弱以上を百万人と見積もっており、強い揺れの範囲が限定的であったけれども、多くの人が強い揺れに見舞われた。これは同規模の地震であった2013年4月の淡路島の地震の同じ見積では震度5強以上で2万人と見積もられたことと比較するとわかる。実際、水道、ガス、電気といったライフラインや鉄道等の交通機関にもそれぞれ影響が出た。また、出勤・登校時間帯に発生したことから、多くの人が移動時の影響、また交通機関が終日乱れたことから、帰宅時の問題も発生した。

大都市圏を揺すったこの地震に対して、将来起きる、より大きな地震時の減災や適切な対応方法を見据えた、構造物耐震性、ライフラインの応答、人の様々な応答についての調査研究が進められているが、本稿では、震源近傍の強震動特性について報告する。

2. 震源要素

文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会では、6月18日及び7月10日にこの地震の評価を行っている(地震調査委員会, 2018)。それによると、この地震の発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ型の地震であり、その後の地震活動の震源は

東西南北ともに約5kmの領域で起きた。領域の北部は東に傾斜した面状に、南部では南東に高角で傾斜した面状に震源が分布し、複雑な断層面で破壊が起きたことを示している。実際、初動の押し引き分布で求められた発震機構解は、逆断層型であったのに対して、CMT解では非ダブルカップル成分の多い横ずれ断層型であり、上記の2面の余震分布が存在することと対応している。

浅野(2018)は余震分布やCMT解を参考にして、北東-南西走向の南東傾斜高角断層面と南北走向東傾斜断層面を設定し、後述する強震記録を用いた波形インバージョンによる断層破壊過程を調べた。すべりは両方の断層面で起きていて、北東-南西走向の断層面では主として右横ずれ、南北走向の断層面では主として逆断層すべりを起こしていたことがわかった。また、破壊は断層面の深い方から浅い方へ伝わっていた。これらは、本震震源が地震活動分布の深いところに位置していることとも対応している。

大阪府北部の地震の発生した地域には多くの活断層が密集しており、震央は東西に走向を持つ有馬-高槻断層帯のすぐ南に位置している。また震央の南にはほぼ南北走向を持つ生駒断層帯、西には同じく南北走向の上町断層帯が位置している。上述のように、この地震は北東-南西走向の右横ずれ断層運動とほぼ南北走向の逆断層運動の組み合わせで起きたと考えている。右横ずれ断層運動は、走向がやや異なっているが、近接する有馬-高槻断層帯との関係を想像させる。一方、逆断層運動の方は、これも近傍の生駒断層との関係を考えるだろう。しかしながら、生駒断層は東傾斜の逆断層であること、今回の地震の震源深さは約15kmであることから、生駒断層に関

係する震源断層と今回の地震の逆断層運動は対応せず、むしろ同じ東傾斜の逆断層である上町断層帯の深部に位置する可能性が高い。地震活動が深さ約10kmより深いところに限定されていることから、これら地表で見られる活断層との関係は推測の域を出ない。

3. 強震記録

1995年兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）後に、震度観測が震度計によって行われることとなり、気象庁、都道府県等地方公共団体、（国研）防災科学技術研究所等による震度情報観測が行われている。現在全国で約4200点の震度観測点が稼働している。このため、今回の地震では密度の高い計測震度分布が得られた。図1は気象庁震度データベース (<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>) から引用したもので、震央を中心とした約50km四方の範囲で80個以上の震度値が報告されている。この地図からは、高震度領域が西～南西及び北東方向に広がっていることがわかる。それぞれの方向が大阪平野及び京都盆地にあたり、堆積層構造による地震動増幅によると考えられる。

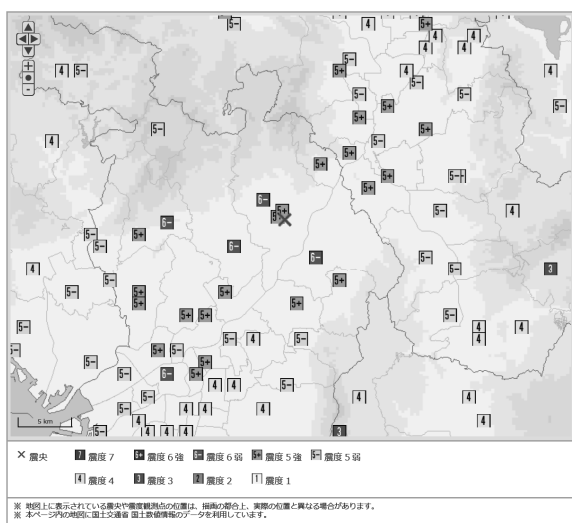


図1 震源近傍での震度観測値。

浅野(2018)は強震記録を収集して、その揺れの強さを地震動予測式と比較した。図2に最大速度（水平2成分の大きい値）の地震動予測式（司・翠川, 1999）との比較を示す。各観測記録は、浅部地盤による経験的増幅度を補正し、工学的基盤相当での地震動予測式と比較している。また震源断層面は大きくないことから、断層最短距離の代わりに震源距離を使った。震源距離約30kmより遠い観測点は、地震動予測式の標準偏差内にほとんど分布しているが、それより近い観測点で、平均+標準偏差より大きい最大速度値を示す地点が多数存在する。これらの観測点の

多くは厚い堆積層を持つ大阪平野内の観測点で、浅部地盤のみならず、深部地盤による地震波増幅の影響があると考えている。また、図面内にあるABU（阿武山観測点）は震源の北東方向にある高槻市の丘陵部にある観測点で、大阪堆積層の外にある基盤の観測点であるけれども、大きい最大速度値を示していることから、震源メカニズムによるS波地震波の地震波射出方位特性や前述した上方への破壊伝播による影響が考えられる。

大阪平野の地盤構造モデルは多くの地球物理学的調査を踏まえて構築されてきており（例えば Sekiguchi et al., 2016）、モデルシミュレーションを実施することで、強震動の成因を探ることができる。

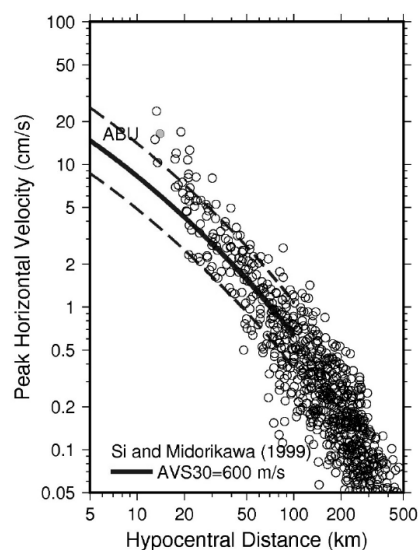


図2 最大水平速度の地震動予測式（司・翠川, 1999）との比較。

参考文献

- 浅野公之(2018): 「震源過程・強震動」 2018年6月18日大阪府北部の地震の調査報告会, 土木学会・地震工学委員会.
- 防災科学技術研究所地震速報 (2018): [http://www.j-risq.bosai.go.jp/report/\(2018年8月14日\)](http://www.j-risq.bosai.go.jp/report/(2018年8月14日))
- 地震調査委員会 (2018): [https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismicity_monthly/\(2018年8月20日\)](https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismicity_monthly/(2018年8月20日))
- 司 宏俊・翠川三郎 (1999): 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式 https://doi.org/10.3130/aijs.64.63_2
- Sekiguchi, H., K. Asano, T. Iwata, M. Yoshimi, H. Horikawa, H. Saomoto, and T. Hayashida (2016): Construction of a 3D Velocity Structure Model of Osaka Sedimentary Basin, Proc. 5th IASPEI/IAEE Int. Symp. on the Effect of Surface Geology on Seismic Motion, Taipei, paper P103B.

ICTデバイス等から得られた情報を活用した竜巻被害調査 —2018年6月29日に米原で発生した竜巻を例にとって—

西嶋一欽*・岩崎弘高**

* 京都大学防災研究所

** 京都大学工学研究科建築学専攻

要 旨

2018年6月29日午後1時38分頃、滋賀県米原市で竜巻によると思われる突風被害が発生した。今回の被害調査では、事前にICTデバイス等から得られた情報を活用することで効率的に調査を実施することができた。また、ドライブレコーダで撮影された映像から竜巻の通過時刻および移動速度が推定でき、さらに映像中の特定の飛散物に着目することで飛散物の飛散速度を推定する可能性が示された。ドライブレコーダで撮影された映像により朝日地区通過時の竜巻通過位置が特定できたので、竜巻中心からの距離と被害の程度を関連付けることが可能になり、被害と風速との関係を仮定することにより竜巻の最大速度および最大風速半径を推定することができた。本稿では以上のことについて報告する。

1. はじめに

2018年6月29日午後1時38分頃¹、滋賀県米原市で竜巻によると思われる突風被害が発生した。京都大学防災研究所は被害地域で建物の被害状況を調査する目的で、2018年6月30日午後に現地調査を実施した。調査は、西嶋一欽、土井こずえ、岩崎弘高（以上、京都大学防災研究所）と松井正宏氏（東京工芸大学）の4名で行った。

今回の竜巻被害調査では、事前にICTデバイス等から得られた情報を活用することで効率的に調査を実施することができた。また、調査を通じて得られた情報を追加的に活用することで竜巻による風速を推定した。本稿では、これらのプロセスを共有することで、ICT技術等から生み出される情報を活用した竜巻被害調査の可能性を示す。

本稿の構成は以下の通りである。まず、2節で竜巻による被害状況の分布を示す。また、竜巻襲来時に車を運転していた運転手の証言が得られたので紹介する。3節では、竜巻による風速を異なる方法で推定（うち一つは飛散物の飛散速度を推定）した結果を

示す。

2. 被害状況

2.1 竜巻経路と被害分布

米原市調査（平成30年6月30日午後3時現在）によると、家屋等の被害状況は朝日・夫馬・北方地区を含む伊吹山南西部で、建物の躯体に影響のある被害数が38戸、ガラスやトタン等の被害数が102戸におよんだ。また、市の災害対策本部（NHKニュース）によると、8名がけがを負った。

図1（左）に、現地調査およびニュースやインターネットでの被害映像や写真をもとに、被害を受けた建物等の分布を地図上にプロットしたものを示す。図中の青印のものは我々の現地調査によるもの、黄印のものはニュース映像等によって判断したもの、紫印のものはソーシャルメディア上で公開されている写真等によって判断したもの、赤印のものはニュースおよびソーシャルメディアで公開されている写真等によって判断したものである。また、米原市調査によると、これらの地域に加えて野一色でも建物の躯体に影響のある被害が報告され、グリーンヒルズ朝日、山東桜ヶ丘、坂口、烏脇、平和台でもガラス・トタン等の被害が報告されている。

朝日地区で記録されたドライブレコーダの映像によると、同地区では竜巻は南から北に向かって進行

¹ 関西電力によると、朝日・夫馬・北方地区等で6月29日午後1時38分48秒に停電が発生。この時刻頃に竜巻が当該地区を通過したと思われる。ただし、この停電はこれらの地区一帯で同時に発生したので、これらの地区のどこを竜巻が通過していたのかは不明。

していることがわかる。また、同映像より竜巻の回転方向は反時計回りであったことを確認した。図1（右）に、飛散物等による被害状況等から推察した、それぞれの地点での風向をプロットしたものを示す。北方地区での竜巻通過位置は不明であるが、夫馬地区および朝日地区では図1（左）で示している被害

を受けた建物の西側を北上したものと考えられる。なお、被害を受けた建物群のすぐ西側には田畑が広がっており、被害を受けうる住宅は存在していない。ただし、耕作地に設置されたパイプハウスのビニールが破損する被害が確認された。

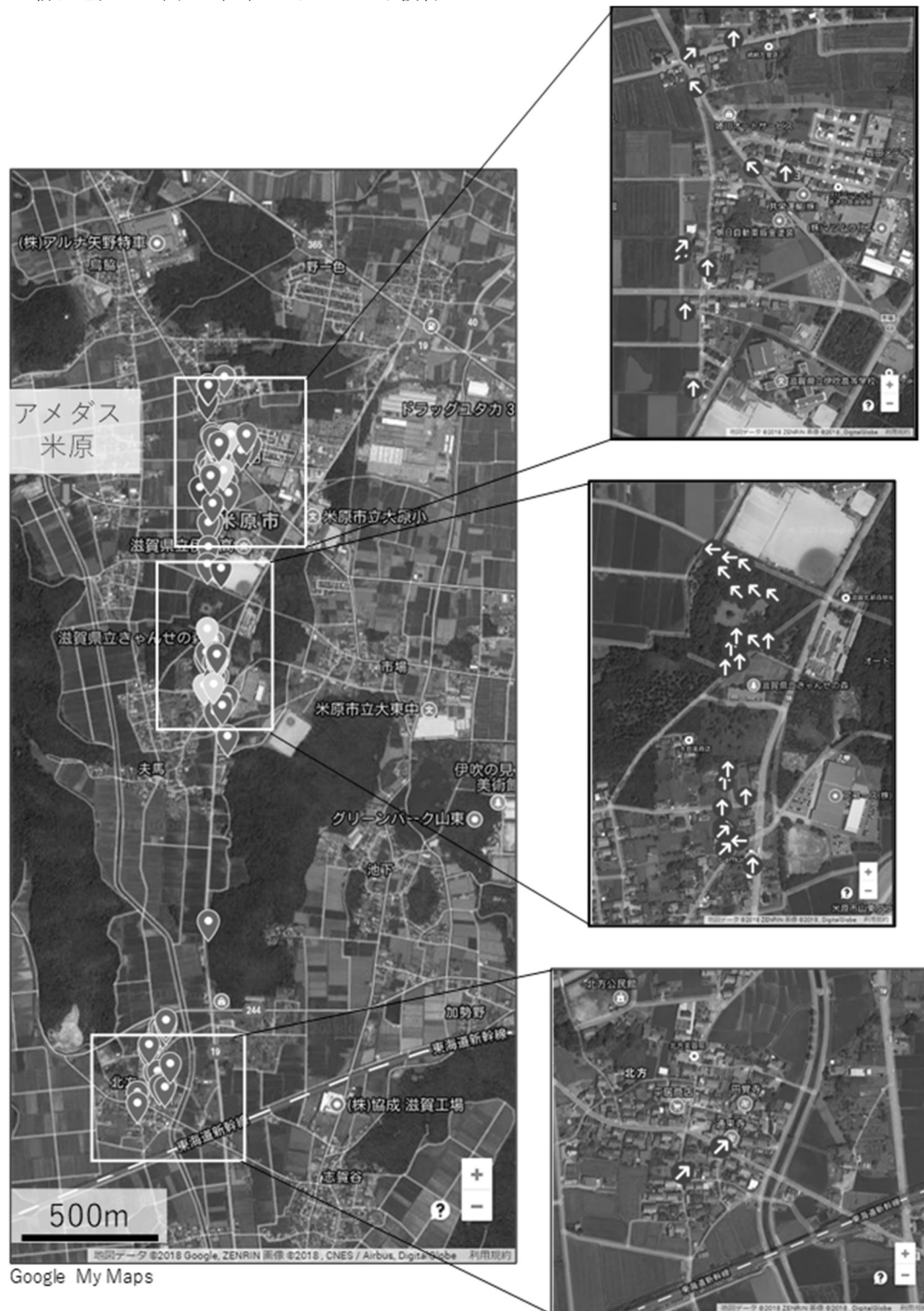


図1．被害を受けた建物等の分布（左）と被害から推察される風向（右）

今回の調査では、調査を実施するまでに、ニュース映像やソーシャルネットワークで公開されている写真等に写っている被害を受けた住宅等の位置をGoogle ストリートビューを用いて概ね特定することができた。これによりあらかじめ調査対象地域を限定することが可能になり、調査効率が向上した。

また、朝日地区および北上地区で撮影されたGPS機能付きドライブレコーダの映像からそれぞれの地区での竜巻通過時刻（朝日地区：13時42分50秒、北上地区13時38分53秒）を知ることができた。それぞれの映像の撮影位置もGoogleストリートビューで特定することができたので、これらの情報から北上・朝日地区間（直線距離で約2.3km）における竜巻の平均移動速度が約35km/hと推定することができた。

2.2 聞き取り調査

朝日地区で竜巻を捉えたドライブレコーダの撮影者とソーシャルネットワーク経由でコンタクトが取ることができ、竜巻を捉えた映像ならびに当時の状況に関する証言が得られた。証言を要約したものおよびその時刻における映像を下記及び図2に示す。なお、証言者が運転していた。

【証言】

- ・画像スタートから（13時42分）25秒位まで、それまでかなり強く降っていた雨が、かなり小降りになった。
- ・後でドライブレコーダの映像を見たところ、この時すでに画面右上にそれらしき雲があることがわかったが、当時は気づかなかった。
- ・40秒あたりで前方に何か飛んでいるのは見えたが、単なる強風と思っていた。右側に家があったのでその先が見えていなかった。この時点でも竜巻には気づかなかった。
- ・42秒あたりで車に飛んで来た飛散物が当たる音が聞こえてきた。
- ・45秒から50秒にかけて、何が起きているのか理解出来なかった。
- ・55秒あたりで目の前を通過してようやく竜巻と気付いた。

この証言から運転中に竜巻と気づくことが困難であることがわかる。また、竜巻襲来当時朝日地区で小屋組みに被害を受けた住宅内部にいた方への聞き取り調査でも、竜巻が来るまで竜巻に気づかなかったという証言が得られた。

3. 風速推定

3.1 JEFスケールを用いた風速推定

朝日地区を竜巻が通過する際のドライブレコーダ映像から竜巻が道路上にある時点での中心位置を推



時刻：13時42分04秒



時刻：13時42分41秒



時刻：13時42分45秒



時刻：13時42分50秒



時刻：13時42分55秒

図2. ドライブレコーダ映像から切り出した画像

定した（図3上）。また、この道路に沿って点在する建物の被害の程度を用いて、日本版改良藤田スケールに関するガイドライン（平成30年3月改正版）に

記載されているDIおよびDODにあてはめ、竜巻通過時の風速を推定した（図3下）。これらを用いて、竜巻の半径方向の風速分布を推定した。その結果を図4に示す。これによると、朝日地区通過時の最大風

速は50～75m/s程度で最大風速半径は30～50m程度と推定される。

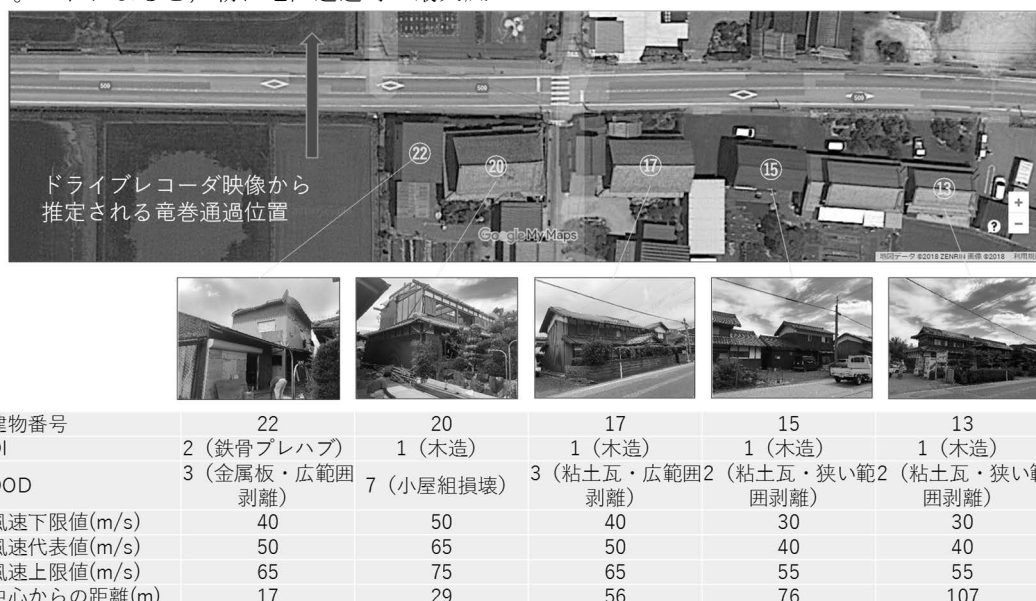


図3. 竜巻通過位置と建物の位置関係（上），被害の程度から推定された風速値（下）

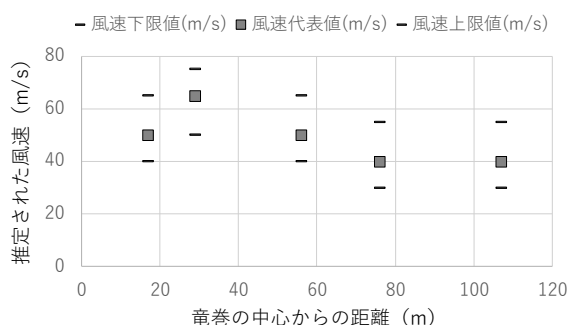


図4. 朝日地区通過時の半径方向（進行方向右側）の風速分布

3.2 飛散物の飛散速度の推定

朝日地区を竜巻が通過する際のドライブレコーダに録画されたデータから飛散物の飛散速度を推定することで竜巻の風速の推定を試みた。撮影に用いられたドライブレコーダは日本電気サービス社製のmirumo eye（型番：DRC-310）である。このデータには、図2に示す通り竜巻の様子が撮影されている。しかしながら、ドライブレコーダに内蔵されているカメラは単眼レンズであるため、被写体の空間上の位置を画像から計算することは一般的に困難である。そこで、本解析では映像中に飛散物として写っているカラーコーンが規格品であることに着目し、そのフレーム画像上の大きさとカラーコーン自体の大きさの情報を組み合わせ、カメラの諸元を加味したうえで幾何学的な関係を用いれば、空間上の位置を計算することができると考えた。詳細な説明は別の機

会に譲るが、およその手順は以下の通りである。

【手順】

- ・カラーコーンが十分大きくかつ明瞭に映っている4枚のフレームを選別する（ただし、選別したフレームは等時間間隔ではない）。
- ・画像処理によりフレーム画像からカラーコーンのみが強調された白黒画像を作成する。
- ・カラーコーンの特徴点（コーンの頂点と基部四角形の頂点）のフレーム画像上での座標を計測する。
- ・特徴点のフレーム画像上の幾何学的な位置関係と整合するように、カラーコーンの姿勢および空間上の位置を計算する。
- ・位置の差分を経過時間で割ることで飛散速度を推定する。

なお、録画データによると当時車は時速15km程度で移動していたが、本解析ではこのことを考慮していない。

図5に各時刻のカラーコーンの位置および推定された座標を1枚目のフレームに重ね合わせたものを示す。推定された位置の変化から推定したカラーコーンの飛散速度を指定した結果を図6に示す。図中のX軸はフレームの水平方向（右向きが正）、Y軸はフレームの垂直方向（上向きが正）、Z軸はフレーム直交方向（奥に行くほうが正）である。本解析によると水平方向の飛散速度は約40m/s程度と推定される。

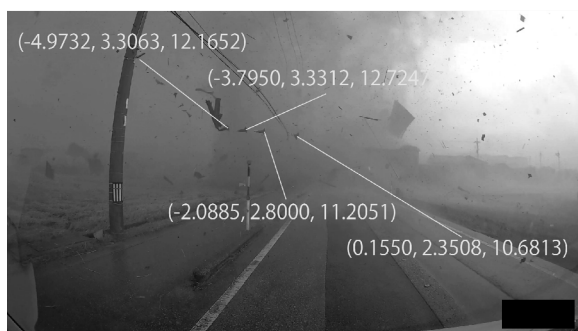


図5．4枚の異なる時間に撮影された画像から推定されたカラーコーンの位置

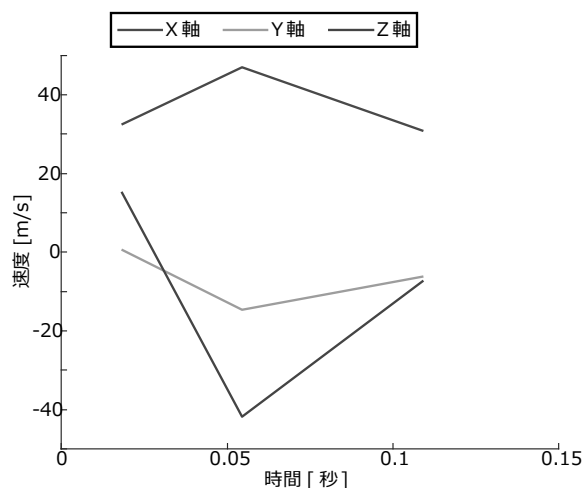


図6．推定されたカラーコーンの飛散速度

4 まとめ

本調査では、ICTデバイス等で収集・発信される情報を活用することで、これまでの調査に比べてより効率的に被害調査を行うことができたことを報告した。また、ドライブレコーダのデータを活用することで竜巻通過時刻を知ることができること、複数の竜巻通過時刻をもとに竜巻の移動速度を推定できること、またドライブレコーダで撮影された映像から竜巻の通過位置を知ることができること、さらにはそれらを用いて風速分布を推定できることと飛散物の飛散速度を推定できる可能性があることを示した。

謝 辞

本調査およびデータの整理は京都大学防災研究所土井こずえ氏に協力していただいた。また、萱野匡章氏にはドライブレコーダによる竜巻通過の瞬間をとらえた貴重な映像ならびに当時の状況に関する証言をご提供いただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

気象庁（2015）日本版改良藤田スケールに関するガイドライン

集めた災害資料を防災に活かす -自然災害情報室の取り組み-

鈴木 比奈子*

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

要 旨

防災科学技術研究所 自然災害情報室では自然災害、防災に関する資料を収集、整理し、資料から得られた知見を発信している。過去の自然災害の知見は、今後起こりうる自然災害の規模や被害を具体的に想定する根拠となる。そこで自然災害情報室では、①収集、②整理、③発信の三段階に分けて、災害資料を防災に活かす取り組みを行っている。これらの取り組みは相互に連携・補完しあっており、ここで得られた知見を次の災害に活かすため、情報発信を行っている。

1. 自然災害情報室の概要

防災科学技術研究所 自然災害情報室は、自然災害や防災に関する資料を収集、整理し、資料から得られた知見を発信している。当室は、防災科学技術研究所の設立の翌年に当たる1964年に開室し、災害資料に特化した資料室である。特徴は、災害資料を収集、保管し、災害情報を伝承する図書館的機能と、収集資料を様々な形態で提供する手法の研究開発機能を有しており、司書と研究員が配置されている。2018年現在は防災科学技術に関する総合的な知（情報）の結集を目的とした総合防災情報センターの下に設置されており、過去の災害資料を収集、アーカイブする自然災害情報室と、並列して災害情報の統合発信を行う情報統合運用室が設置されている。

過去の自然災害の知見は、今後起こりうる自然災害の規模や被害を具体的に想定する根拠となる。災害情報の総体的なアーカイブと情報利用体制を構築するために、自然災害情報室では、①収集、②整理、③発信の三段階に分けて、災害資料を防災に活かす取り組みを行っている。これらの取り組みは相互に連携・補完しあっており、ここで得られた知見を次の災害に活かすため、情報発信を行っている。本稿では、自然災害情報室が実施している取り組みについて紹介する。

2. 収集

2. 1 収集対象となる災害資料

将来の災害に備えるためには、地域で発生した過去の自然災害を知る必要がある。そこで当室では、発生した自然災害の様々な資料を収集し、長期的・継続的なアーカイブを実施している。

所蔵対象となる資料は、様々な形態である。所蔵資料の多くは、研究の参考となる図書や雑誌をはじめ、報告書や地方新聞などの書籍である。そのほか、印画紙に焼いた写真や絵、地域の災害リスクに関わる主題図、その土地の災害記録が刻まれた石碑の解析画像、火山灰や岩石などの現物資料、災害記念碑などの分布を示す地理空間情報、地震や天気の観測記録、空中写真などがある。これらの資料は、紙媒体の資料で保管するほか、デジタル資料としても所蔵している。近年は特にデジタル写真のデータ量が多く、撮影する際に位置情報を付与した状態で撮影している。これは後から、いつ、どこで、どの地点で撮影したものかわかるようにするためである。そのほか、災害発生直後に現地の住民によって撮影された写真は、入手時に二次利用について許諾条件を確認している。災害に関連する資料は一般からも寄贈を受け付けている。当室は、性質上、被災地域の所在する施設ではないため、地域にのみ存在する郷土資料や公文書や古文書などは所蔵していない。しかし、災害資料を保有するアーカイブ機関との連携を行うことで、地域の災害資料へのアクセスを進めている。収集した資料情報は「DIL-OPAC(<http://www.lib-eye.net/dil-opac/>)」を通して、一般に公開し、自由に検索可能としている。

表 1 資料区分

請求記号	資料区分	概要
D	災害記録	特定の災害に関する資料
E	地域資料	災害に関する地域資料
F	災害研究	災害に関する専門書・報告書など
H	地図	地質図や地質図など
I	和雑誌	災害に関連する日本発行の雑誌
J	洋雑誌	災害に関連する海外発行の雑誌
P	災害写真	空中写真など
N	防災科研	防災科研の刊行物

2. 2 他機関との災害アーカイブの連携

災害の資料は被災地の図書館において、最も多く収集されている。災害アーカイブの知見を共有する活動を進めることにより、記録を後世に継承し、活用する取り組みを行っている。この活動については、堀田ほか（2017）に詳しい。そのほか、他機関の災害アーカイブの継承も行っており、2017年度より、松代地震センター収集資料を長野市と気象庁松代地震観測所と連携し、災害アーカイブの継承と分散管理を実施している。

3. 整理

収集した災害資料は、保存のため、資料自体の整理と災害資料内に含まれる情報の整理を行っている。

3. 1 独自分類による資料の整理

当室では、災害分野を軸とした独自の分類手法を考案し、実践している。分類に関しては、堀田ほか（2012）に詳しい。資料の主な蔵書構成は、8種（表1）で、D災害記録、E地域資料、F災害研究専門書、H地図、I学術和雑誌、J洋雑誌、N防災科研資料となっている。そのうちD災害記録については、資料の一覧性を最重要視し、災害資料をその場で直感的に探せるよう一般的な図書館の分類・配架手法に捉われない独自手法を検討し、運用している（堀田ほか、2012）。災害資料は、災害への関連程度や形状に応じて区分している。最重要はD災害記録で、1923年関東大震災のような、特定の災害に関する具体的な資料としている。E地域資料は地誌や地域災害史などの資料を指す。

D災害資料の出所分類と配架は、表2のとおりである。国内外と災害種によって分類の基準が異なっている。大まかには、災害種、災害発生年順、災害地域ごとに分類している。この分類は直接配架された状態の資料を利用者が手に取ることを想定したものである。

3. 2 過去の災害の事例を整理する

収集した災害資料をより使いやすくするために、防災科研では「災害事例データベース（例えば鈴木ほか、2013）」の構築を行っている。日本全国の過去の災害事例を市区町村単位で情報を整理し、各種災害に関する知見を見出すとともに、災害写真や文献など他の情報との連携が可能なデータベースとすることである。災害事例データベースの到達目標は日本全国、歴史上の記録に残る自然災害事例を網羅し、災害事例の「インデックス」とする位置づけの元に整備を進めている。2018年8月現在、全国1742自治体のほぼすべてを網羅し、整備した事例データは約5万8000件である。災害事例データベースの内容は「いつ」、「どこで」、「どのような自然災害が」、「いかなる被害が」発生したのか、という内容を8分類、280項目に情報を抽出し、格納している（表3）。対象となる自然災害は、地震災害、火山災害、風水害、斜面災害、雪氷災害、その他の気象災害の6分類32項目である。災害事例データベースの項目や掲載内容については、防災科学技術研究所（2018）に詳しい。

災害事例データは膨大なため、簡単に災害事例情報を表示し、把握するために、GISを用いた災害事例の可視化の取り組みとして「災害年表マップ（<http://dil-db.bosai.go.jp/saigai2016/>）」を公開した（鈴木ほか、2016）。災害年表マップは、災害事例の発生自治体の地点をWeb地図上に表示し、発生年ごとに面的な災害発生の広がりを表現したものである。

4. 発信

収集した資料をより使いやすく、より利用者が情報を取得しやすくするため、災害資料の発信を行っている。主に、デジタルアーカイブの公開、災害発生直後より「クライシスレスポンス」として災害情報の集約と発信を行っている。整備、発信した災害事例は、APIを通じて、地域の特性を一覧可能な「地域防災Web」などで連携利用されている。

4. 1 デジタルアーカイブ

デジタルアーカイブとして、公開した災害資料の一例に「1964年新潟地震オープンデータ特設サイト (<http://ecom-plat.jp/19640616-niigata-eq/>)」や「水害地形分類図デジタルアーカイブ

(<http://ecom-plat.jp/suigai-chikei/index.php?gid=10006>)」がある。Web-GISを用いて、写真や地図をWeb地図上で災害資料の閲覧と資料データの取得可能な形態で配信している。公開する資料は、必ずしも自由に利用可能ではないため、各資料の利用条件などを明記の上公開している。自然災害情報室のデジタルアーカイブについては、鈴木（2018a, 2018b）に詳しい。

4. 2 災害時の情報収集と集約

災害資料は、災害発生時の情報収集と集約されたものがその後アーカイブとして、集積していく。そこで、災害発生時における情報収集と集約として、「クライシスレスポンス」を展開している。クライシスレスポンスサイトは情報統合運用室が開設し、その後集約された災害情報は災害資料のアーカイブとして、自然災害情報室が集積していく。2018年は「平成30年7月豪雨クライシスレスポンスサイト

(<http://crs.bosai.go.jp/DynamicCRS/index.html?appid=3ab51465efc8429789b3edcdb42a59bf>)」などで災害の情報を集約し、提供した。

5. おわりに

当室ではこれまで50年以上にわたり収集してきた災害資料のアーカイブや災害事例データの整理をすすめてきたが、今後、資料情報の連携や発信のさらなる発展、他機関アーカイブへの知見の発信が必要である。今後も関連機関との情報の連携や知見の発信、共有を進めていく。

参考文献

- 鈴木比奈子・内山庄一郎・堀田弥生・臼田裕一郎（2013）：日本全国の自然災害事例の網羅的なデータベース化, 日本地理学会発表要旨集, No. 83, p297.
- 鈴木比奈子・内山庄一郎・臼田裕一郎（2016）：過去1600年間の災害事例を可視化する一災害年表マップの公開一, 日本災害情報学会第18回大会予稿集, pp32-33.
- 鈴木比奈子（2018a）：防災科研の災害資料デジタルアーカイブー災害記録のより広い収集と利用に向けて一, 地理, No. 755, pp40-45.
- 鈴木比奈子（2018b）：防災科学技術研究所自然災害情報室, 日本歴史, No. 842, pp70-71.
- 堀田弥生・鈴木比奈子・内山庄一郎（2012）：自然災害情報室における災害資料の最適な配架手法について, 日本災害情報学会第14回研究発表大会, pp26-28.
- 堀田弥生・鈴木比奈子・臼田裕一郎（2017）災害資料アーカイブ機関間の連携, 日本災害情報学会第19回研究発表大会予稿集, pp266-267.

表 2 D災害記録の出所分類と配架順

国別	災害種別	分類基準	配架順	同じ災害内での並び方	理由
国内	地震・津波*1	発生年代	古～新	タイトル順	地震の被害地は震源域と一致しないこともあり、場所区分が難しく、発生日の方が特定しやすく検索キーとなるため
	津波				場所による分類基準だが、複数の自治体の境界に位置することが多いため県別、地方別区分にそぐわない
	火山	火山体毎	北～南		気象に起因する災害は同時に複数種の災害が発生することがあるため
	気象・雪氷・洪水・土砂・環境	災害発生場所（都道府県、地方）	① 北～南 ② 発生年代		
	大規模災害	指定した災害*2	上記に順ずる		大規模な災害は複数の地域を跨ぐ場合があるため、地域別では全体像が見えない
海外	全災害	発生年代	古～新	タイトル順	資料数が少ないため、発生年のみを配架の手がかりにして単純化している

*1 遠隔地津波など、被害が津波のみの場合

*2 死者 1,000 名以上または社会的にインパクトの大きい災害

*3 資料が大量の場合は NDC 分類してからタイトル順。阪神・淡路大震災と東日本大震災の 2 例のみ

堀田弥生・鈴木比奈子・臼田裕一郎（2017）災害資料アーカイブ機関間の連携,日本災害情報学会第19回研究発表大会予稿集,pp266-267.
防災科学技術研究所（2018）災害事例データベース

<http://dil.bosai.go.jp/deddb/index.html>（閲覧日：2018年8月24日）.

表 3 災害事例データベースの項目

大分類	中分類
事例管理情報	事例番号などの管理情報
災害名称	出典資料での名称 気象庁名称 地震文献での名称
発生日時	出典資料での発生期間、時刻、時間帯に関する情報
発生場所	現在の自治体名称（出典資料の発行自治体） 災害発生当時の自治体名称
災害現象の詳細	災害5種の現象に関する詳細情報
災害種別	災害種別大分類 災害種別詳細分類
被害の詳細	人的被害 建物被害 インフラ・農地被害
引用文献	出典資料情報詳細 原典名称

データベースSAIGAI の改革

ー防災研の災害資料を有効に使ってもらうためにー

大西 正光
巨大災害研究センター

トピック

- ・ 防災研究所が管理・運営しているDBの紹介
- ・ データベースSAIGAIの現状と改革
- ・ データベース保有に関する教訓（私見）

自然災害研究者人材データベース(人材DB)



京都大学防災研究所
自然災害研究者データベース

本データベースは、自然災害科学の研究者ネットワークの運営を目的として、特に災害発生時の調査活動において迅速に連絡の取れる研究者のデータベースを構築できるようにするため、必要な情報が少ない状態で検索・閲覧できることを目的としたものである。

自然災害研究協議会
2006.08.04
2012.03.30

ユーザ名:
パスワード:

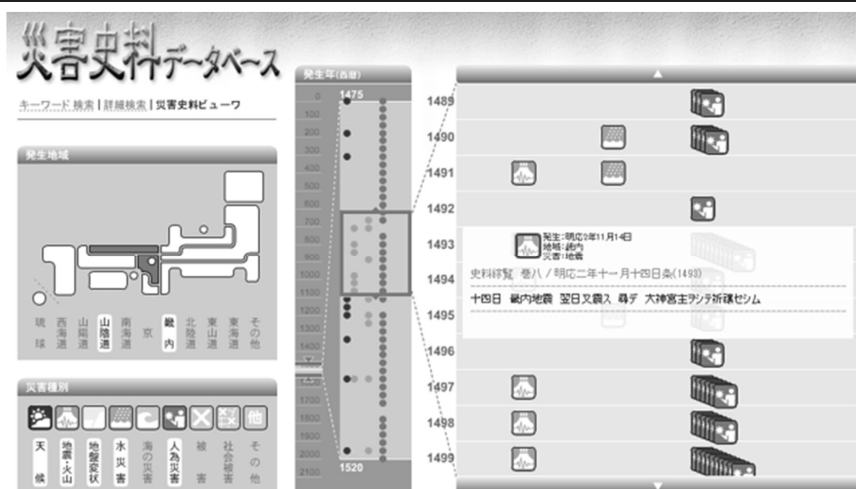
下にメールアドレスを入力して、ユーザIDとパスワードを取得してください。(データベースに登録されている方のみ)

新規登録申し込みはこちら

<http://nyorai.dpri.kyoto-u.ac.jp/win/jinzai/ndic/login.cfm>

- 自然災害研究協議会を通じて運営
- 目的
 - 地区部会の組織確立及び地域に特徴的な災害研究を推進する核の構成
 - 突発災害調査班の迅速な立ち上げ
- 現在の登録数は1037名。2006年に始まり、2011～12年に大幅な登録増。最近の登録は2013年(3件)
- 現状
 - ソフトウェアが古く、セキュリティ上の懸念から外部公開を停止中。
 - 協議会において、同DBを廃止し、MLを再構成することにより、機能を維持することとなった。

災害史料データベース



古文書に残る災害の歴史的記録から災害発生パターンを知る

<http://maple.dpri.kyoto-u.ac.jp/saigaishiryu/>

自然災害データベース「SAIGAI」

検索画面

自然災害データベース「SAIGAI」

●検索キーワードを入力してください。

~「SAIGAI」とは~

~検索方法~
検索ボックスにキーワードを入力して「検索」ボタンをクリックすると、検索結果のリストが表示されます。
また、スペースを挟んで複数のキーワードを指定することで“and”検索ができます。

~ダウンロード~
検索したリスト、または個別の詳細ページにて、タブ区切りのテキストファイルのダウンロードができます。
(文字コード：UTF-8 改行コード：CRLF)

自然災害データベース「SAIGAI」は、日本学術振興会による平成7, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 19, 21, 23年度科学研究費補助金（研究成果公開促進費）の交付を受けて、作成・公開されています。

<http://maple.dpri.kyoto-u.ac.jp/saigai/>

シンプルな
キーワード検索

検索結果画面

自然災害データベース「SAIGAI」

●1件中 1 - 1件目を表示

1. 「津波でんでんこ」-その真意と問題点-

～ 山下文男 (作家・歴史地理研究会)
近刊誌「The Kindaishobo」

資料番号	20110601203
題名	日 「津波でんでんこ」-その真意と問題点-
作者・所属機関	日 山下文男 作家・歴史地理研究会 英
掲載誌	日 近代消防 英 The Kindaishobo 2004年 6月 518号巻 掲載頁23～ 27
発行所	日 近代消防社 英 Kindaishobosha
地名または地域名	日 日本 英 Japan
概要	はじめに 言葉の意味 共倒れの悲劇 欲しい知識 「災害弱者」対策との関連 自主防災と消防団の役割 わすび
コメント	
資料の種類	学術雑誌・論文集
資料の体裁	オリジナルの資料
保管場所	九州大学
コピー	不可
キーワード	

災害関係
資料の
図書館

所蔵件数
126,781件

保管場所が記
されており、自然災
害研究協議会事
務局に問い合わ
せれば資料を入
手できる

データベースSAIGAIの運営体制

- ・ 巨大災害研究センターが運営担当
 - ・ 自然災害研究協議会事務局の河津さんが、データベースSAIGAIの目録入力、書庫整理、貸し出し対応を1人で担当
 - ・ サーバーは、京大の情報環境機構のホスティングサービスを利用
- ・ 自然災害研究協議会を通じた資料収集
 - ・ 各地区支部から巨大災害研究センターに、所蔵すべきと判断された資料が送付される。

データベース「SAIGAI」の課題

- プリミティブな検索技術／データベースシステム
 - ・ シンプルなキーワード検索のみで絞り込みが難しい.
 - ・ データベースSAIGAIのデータベースと書架配置データベースが未統合
- 不十分な管理体制
 - ・ 書庫管理は、専門的知識を有する相応の人数の人員が必要
- 冗長な資料
 - ・ すでに電子化されている資料、他の施設で広く入手できる資料も所属
- 少ないエクスポージャー
 - ・ わざわざ、データベースSAIGAIを訪ねないと所蔵資料がヒットしない.

データベース「SAIGAI」の改革

- アウトソースできるものは外へ、できないもののみ内部で
データベースシステムには規模の経済性が働くため、すでに大規模に進めている外部機関が提供する既存のサービスを利用する方が効率的
→ 自然災害研究協議会で承認済み
- アウトソース先の条件
 - ・ 安定的・継続的運営が可能な組織
 - ・ 図書館司書などの専門人員を有している組織
 - ・ 所蔵資料が全国図書検索システム(※国会図書館が2020年稼働を目指すジャパンサーチ構想)に含まれる
- 防災科学技術研究所ライブラリーなどを検討中

アウトソースに向けた課題


- 棚卸しの方針策定
 - 優先順位: 防災研→京都大学→他組織
 - 棚卸しの基準とプロセス
 - 作業の実施人員の確保
- 自然災害研究協議会を通じた資料収集体制の維持
 - 地区部会の資料収集体制の確認ーヒアリング, アンケート等の実施
- 防災研の貢献の記録
 - 自然災害研究協議会を通じた防災研資料室のコレクションであったことを移転先の目録に記載してもらう等

教訓 ※あくまでも私見です

データベースを保有するとなれば…

- かなりの規模の投資(設備と有能な専門家・戦略家)が必要
- 継続的な財政的支援体制が構築できなければ, 相対的価値は一気に低下する恐れ
 - 期限付き財源は初期投資へ. 運営には経常的財源を充てるべき.
- 内部リソースだけでは価値は限定的. 連携を通じて外部リソースをどれだけ巻き込むことができるか?

今年度のスケジュール(案)

- 
- ◀ 6月 第1回WG 今後の行動方針, 手続き, スケジュールの確認
 - ◀ 8月 第2回WG 所内行動計画の内部ドラフト素案
 - ◀ 9月18日 第2回自然災害研究協議会 行動計画検討状況の報告
 - ◀ 9月末 第3回WG 所内行動計画のドラフト
 - ◀ 10月～12月 学内でのパブリックコメント受付
 - ◀ 1月～ 第4回WG 所内行動計画の確定
 - ◀ 3月 第3回自然災害研究協議会 所内行動計画の審議

第 55 回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集

平成 30 年 9 月 18 日

発行：京都大学防災研究所 自然災害研究協議会

議長：大石 哲（神戸大学都市安全研究センター）

岩田 知孝（京都大学防災研究所・自然災害研究協議会総務）

（お問い合わせ）電話：0774－38－4347

<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/ndic/contents.html>

印刷：河北印刷株式会社